



2021년도 지정연구과제

대체육 생산 현황과 전망

최종보고서

2021년 10월

(재)한국식량안보연구재단

한국식량안보연구재단 제출
2021년도 지정연구과제 결과보고서

대체육 생산 현황과 전망

연구기간 : 2021년 1월 1일 ~ 2021년 10월 31일

제1세부과제: 세계 대체육 개발 동향과 시장 현황

배호재 교수 (건국대학교 줄기세포재생공학과)

제2세부과제: 세계 식물성 단백질 자원의 수급 및 활용 현황과 전망

김민수 대표 (애그스카우터)

제3세부과제: 곤충이용 식품 및 대체육 소재 개발 현황

남성희 과장 (국립농업과학원 곤충양잠산업과)

제4세부과제: 세포배양에 의한 인조육 생산 기술

지현근 박사 (㈜다나그린)

제5세부과제: 국내외 식물성 단백질 시장의 미래 시장동향

한정훈 박사 (Pulmuone Foods USA)

제1세부 과제

세계 대체육 개발 동향과 시장 현황

Global cultured meat development
and market status

연구책임자 : 배호재 건국대학교 줄기세포재생공학과 교수

연구기간 : 2021년 1월 1일 ~ 2021년 10월 31일

2021년 10월

세계 대체육 개발 동향과 시장 현황

배 호 재
건국대학교 부교수

목차

■ 연구배경

1. 개요
 - 1) 생명공학기술과 식품개발
 - 2) 최신 생명공학기술과 대체단백질
 - 3) 미래를 위한 대비 - 대체육
 2. 식물성 대체육 생산 기술 발달과정 및 종류
 3. 글로벌 대체육 시장 동향
 4. 주요 국가별 대체육 시장
 - 1) 미국
 - 2) 영국
 - 3) 중국
 - 4) 일본
 - 5) 대만
 - 6) 국내 시장물
-

■ 연구배경

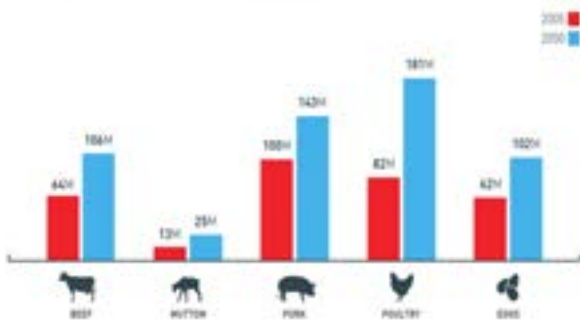
- 각종 보고에 (유엔식량농업기구, FAO) 의하면 세계인구는 2050년에 이르면 100 억명 정도로 증가할 것으로 예상되어¹⁾ 73%의 육류 소비량의 증가가 예상됨. 식량 증가량을 감당하기 위해 매년 약 2 억톤의 육류생산 증산이 이루어져야 한다고 하고 온난화와 같은 지구의 이상기후로 인해 작물의 수확량이 감소될 것으로 예상하고 있어 식량안보가 중요한 이슈로 대두되고 있음 (그림 1)²⁾. 더 나아가 사료용 곡물의 수요가 점차 늘어 생산비가 오르고 생산면적이 줄어들게 되어 축산물이 식량자원으로서는 고가의 먹거리가 될 것으로 전망, 미래의 식량 확보를 위한 미래 식품대체기술 개발의 중요성이 부각되고 있음.

1) FAOSTAT 통계

2) 맹진수(2016). 『융합연구리뷰』, 2(4) 미래 식품의 대체 기술 동향: 배양육, 인공계란과 식용곤충 중심으로

- 따라서 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 등 기존 동물성 단백질을 대체하는 대체육 (또는 육류 대체 식품)이 개발되었음³⁾. 가장 대표적으로 우리가 흔히 알고 있는 콩을 주원료로 하는 ‘콩고기’라고 불리는 ‘인조고기’가 초기에 주를 이루었지만 최근에는 관련 분야의 기술의 비약적 발전으로 실제 육류에 더욱 근접한 외형과 식감을 갖추게 됨. 이에 발맞추어 식품의약품안전처에서는 2024년까지 대체단백질 식품에 대한 건전성 검토 및 안전성 평가 기반을 마련하여 식품공전에 대체육에 대한 정의, 기준 및 규격을 마련한다는 계획임. 따라서 본 보고서에서는 국내외 대체육 시장에 대한 개발 동향과 시장 현황을 조사하고 최근 들어 급속도로 발전중인 최신 생명공학 기술을 적용하여 개발되는 주요 대체육 기술 및 제품 들을 소개할 예정이다. 또한 이에 따른 문제점 및 그에 따른 보완이 필요한 주요 이슈들을 다룰 것임.

GLOBAL DEMAND FOR MEAT 2005 vs. 2050



- 2050년 세계인구는 현재보다 20억 명 증가한 약 100억 명 예측
- 전세계적 육류 수요 급증 (주요 국가 GDP 증가)
- 73%의 육류 소비량의 증가 예측
- 해결 위해 경작지의 70% 가 축산관련으로 전환 필요
- 개발도상국 육류 소비량 성장률은 선진국의 약 4배 예상

그림 1. 매년 급격히 증가하는 식량 수요, 온난화와 같은 지구의 이상기후로 인한 작물의 수확량 감소 등에 의해 식량안보가 중요한 이슈로 대두되고 있음 (출처 : Food and Agriculture Organization of the United Nations).

1. 개요

1) 생명공학기술과 식품개발

- 식품산업에서는 최신 생명공학기술의 융합에 의해 기존의 농·식품 산업은 새로운 국면을 맞이하고 있음. 주요 이슈로는 폭발적인 인구증가와 직접적으로 연관이 있는 식량부족 및 예측이 어려운 환경 문제에 적절히 대응하기 위한 혁신기술의 적용이 이루어지고 있는 추세임 (그림 2).

- **(농업)** 농산물을 재배 또는 가축의 사육을 통하여 인간에게 식품을 제공하는 가장 기본적인 수단 중 하나이지만 예측이 어려운 자연환경에 의해 크게 좌우된다는 단점이 있음.
- **(기후변화)** 예측이 어려운 기후변화는 농업에 전반적인 영향을 끼침. 물 부족, 홍수, 가뭄 등은 전 세계가 당면한 문제로서 기후변화에 대응 가능한 식품개발 기술이 필요한 실정임⁴⁾.
- **(생명공학기술과 식품)** RNAi (RNA interference), 합성생물학, 유전자가위 등의 기술발전으로 인해 육종 및 유전자 변형기술을 기반으로 유전자변형작물의 (Genetically Modified

3) 이현정, 조철훈(2019). 세계농업 2019 3월호, 세계 대체육류 개발 동향

4) 이대웅(2017). “기후변화를 고려한 안성천 유역의 미래 물 부족량 평가”, 한국습지학회, Vol.19 No.3, pp. 345~352.

Organism, GMO) 생산, 식품의 맛과 풍미, 색소를 풍부하게 하기 위한 식품첨가제 등이 개발되고 있음⁵⁾.



그림 2. 최신 생명공학기술을 이용한 대체 단백질 식품 예시. 노란콩 등의 식물성 재료로 생산된 저스트 마요(왼쪽), 배양세포로 생산된 SuperMeat사의 다집육형 배양육(오른쪽 위), 단백질 성분을 미생물이 생산하는 방식의 Perfect Day사의 배양우유(오른쪽 아래) (출처 : Eat Just, SuperMeat, Perfect Day).

2) 최신 생명공학기술과 대체단백질

- 혁신기술을 접목한 대체단백질 분야가 큰 관심을 받고 있음. 이와 함께 단백질 생산의 세 번째 단계가 태동기를 지나 성장기에 접어들고 있음 (그림 3)⁶⁾.
 - (생명공학기반 식물성고기) 임파서블 푸드 (Impossible Foods)에서 육류 특유의 맛을 결정짓는 헴 (heme)이 첨가된 식물성 소재를 (레그헤모글로빈) 이용한 식물성 고기가 (meatless meat) 급속도로 발전하였고 최근 FDA 안전성 최종 승인 받은 후 대체 단백질 원으로 점차 관심이 높아지고 있음.
 - (식물성고기 시장) 임파서블푸드, 비욘드미트 같은 대체육을 생산하는 스타트업들은 맛은 물론 가격 면에서도 경쟁력을 갖추면서 대체육 시장이 급성장하고 있는 추세임. 이러한 대체육 시장은 여러 회사들의 투자를 통해 시장의 규모가 점차 커지고 있어 기존 축산업계를 위협할 강력한 경쟁자로 급부상하고 있음⁷⁾.

5) The National Academies of Sciences Engineering Medicine.(2018). “Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030”, The National Academies Press.

6) Welin, Stellan.(2013). “Introducing the new meat. Problems and prospects”, Nordic Journal of Applied Ethics, Vol.7 No.1, pp.24-37.

7) 맹진수(2016). “미래 식품의 대체 기술 동향 : 배양육, 인공계란과 식용곤충을 중심으로”, 융합연구리뷰, Vol.2 No.4.

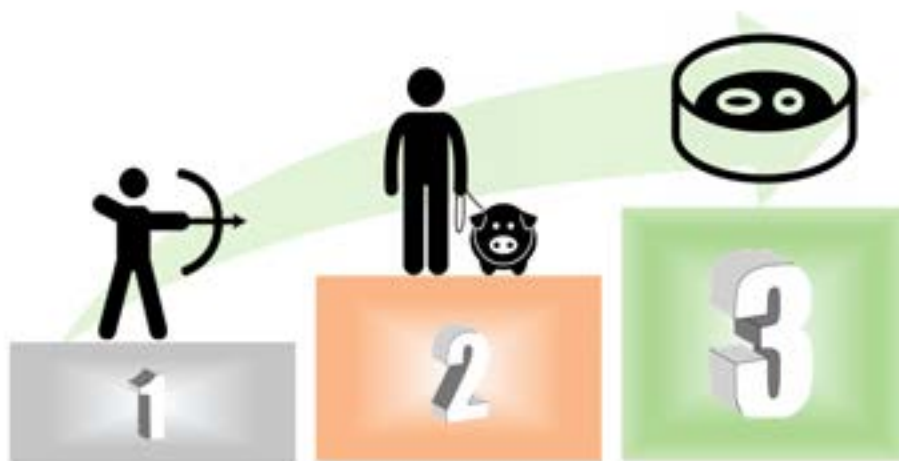


그림 3. 사냥, 방목, 공장식 축산에 이어 최신 생명공학 기술을 활용하여 대체 단백질 식품을 생산하는 단백질 생산의 세 번째 단계의 태동기에 접어들고 있음.

3) 미래를 위한 대비 - 대체육

■ 대체육의 역사와 범위

- ‘대체육’이란 대체 단백질 식품을 일컫는 용어로서 일반적으로 고기를 대신할 수 있는 식품을 말하는데, 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 등 기존의 육류를 대체할 수 있는 식품인 ‘육류대체식품’⁸⁾ 또는 동물성 단백질을 대체한다는 의미로 ‘대체식품’⁹⁾ 이라고도 함 (아직 완벽하게 기존의 육류를 대체하지는 못하기 때문에 ‘대체육’이라는 용어에 대한 전반적인 합의가 이루어져야 할 것으로 보임).
- 동양권에서는 두부 (Tofu), 템페 (Tempeh), 세이탄 (Seitan) 등의 전통 음식이 식물성 단백질 식품 범주에 들어가는 식품임 (그림 4)¹⁰⁾.
- 두부 (Tofu)는 콩에서 단백질을 추출하여 만든 식물성 식품으로서 고려 말기에 전래된 것으로 추정되며 한국인의 주요 단백질 공급원 중 하나임.



그림 4. 동양의 전통 식물성 단백질 식품 예시. 두부(왼쪽), 템페(중간), 세이탄(오른쪽)

출처: 헬스조선, 브런치, 썸픽)

8) 한국농수산식품유통공사(2018.10). 중국, UAE, 호주 육류대체식품 및 채식식품 시장현황

9) 박미성, 박시현, 이용선(2020.07.02). 『농정포커스』 제190호. 대체식품 현황과 대응과제

10) 유광연, 용해인, 유민희, 전기홍(2020.4). “식물성 단백질을 이용한 육류 유사품에 대한 고찰”, 한국식품과학회지, Vol.52(2), pp. 167~171.

- 템페 (Tempeh)는 400년 이상 이어져오는 인도네시아의 청국장, 낫토로 불리우는 전통음식으로서 콩을 발효시켜 단단히 굳힌 식물성 식품임. 콩을 통째로 사용한다는 특징에 의하여 단백질 함량이 매우 높은게 특징임¹¹⁾.
- 흔히 ‘밀고기’라고도 불리는 세이탄 (Seitan)은 글루텐 (밀)을 이용하여 만든 음식으로 밀 반죽에서 전분을 제거하여 만든 식물성 음식으로 고기와 가장 식감이 비슷함¹²⁾.
- 영어권에서는 대체육을 ‘Meat Substitute’ , ‘Meat Analog’ , ‘Meat Alternative’ 등으로 명칭을 사용하고 있으며, ‘Artificial Meat’ , ‘Synthetic Meat’ , ‘Fake Meat’ 라고 표현하기도 함.
- 현재 식품공전에는 대체육에 대한 정의, 기준 및 규격이 아직 마련되지 않았음. 빠른 식품 산업 구조 변화 및 기술가속화에 따른 미래 먹거리 변화에 효과적으로 대응하기 위하여 식품의약품안전처는 2020년부터 2024년까지 콩고기, 배양육 등 새로운 형태의 식품 (대체 단백질 식품 등)에 대한 건전성 검토 및 안전성 평가 기반 마련을 추진 중임¹³⁾.
- 대체육은 유형별로 **식물성 대체육, 균류 단백질 식품, 곤충단백질 식품, 해조류 단백질 식품** 등으로 분류할 수 있음¹⁴⁾. 이중 대체육 시장에서 가장 큰 비중을 차지하며 성장을 이끌고 있는 식물성 대체육을 중점적으로 조사 하였음.

2. 식물성 대체육 생산 기술 발달과정 및 종류

- 식물성 대체육의 개발은 1950년대 이전에는 **글루텐**을 이용하여 제조한 식물성 대체육을 생산하고, 1950년대 후반에는 **대두단백질**을 이용하여 생산하였으나 그때까지만 해도 대체육의 조직감이 기존 육류와 차이가 커서 크게 각광 받지는 못하였음¹⁵⁾.
- 초기 제품들은 콩을 주원료로 하는 단백질 식품이라는 의미로 ‘콩고기’ 또는 인공적으로 제조한 식품이라고 해서 ‘인조고기’라 불렸음. 하지만 1970년대 들어서부터 기술의 발전으로 대폭 개선된 외형과 식감을 갖추게 되면서 육류를 대체하는 단백질원이라는 의미로 ‘대체육’ 이라고 불리기 시작함.
 - 1970년대에 Archer-Daniels-Midland사 (ADM)에서 **조직화 대두 단백질 (Textured Soy Protein)**를 생산하면서 여러 가지 모양과 질감 및 맛을 내는 대체육 제품이 생산되기 시작함¹⁶⁾.
- 대체 육류 시장에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 식물성 대체육은 **밀글루텐, 대두단백질**을 주 원료로 사용하여 생산되고 있으며 그 외에 완두콩, 콩, 깨, 땅콩, 목화씨, 쌀, 곱팡이 등도 사용되고 있음 (표 1)¹⁷⁾¹⁸⁾.

11) 김종태(1990). “무염 대두 발효식품 템페”, 식품기술, Vol.3(1), pp. 24~33.

12) 유광연, 용해인, 유민희, 전기홍(2020.4). “식물성 단백질을 이용한 육류 유사품에 대한 고찰”, 한국식품과학회지, Vol.52(2), pp. 167~171.

13) 식품의약품안전처(2020.01.20.). 제2차(2020~2024년) 식품등의 기준 및 규격 관리 기본계획 시행. 보도자료.

14) 박미성, 이용선, 김경필, 박시현, 한정훈 (2020.07.02.). 식품산업의 푸드테크 적용 실태와 과제 : 대체축산식품과 3D 식용 프린팅을 중심으로

15) 김철재(2005.04.30.). “식물성 단백질을 이용한 육류대체식품의 개발”. 동아시아식생활학회 2005년도 춘계학술대회. 2005, pp. 75-92.

16) 유광연, 용해인, 유민희, 전기홍(2020.4). “식물성 단백질을 이용한 육류 유사품에 대한 고찰”, 한국식품과학회지, Vol.52(2), pp. 167~171.

17) 이현정, 조철훈(2019). 세계농업 2019 3월호, 세계 대체육류 개발 동향

18) 유광연, 용해인, 유민희, 전기홍(2020.4). “식물성 단백질을 이용한 육류 유사품에 대한 고찰”, 한국식품과학회지, Vol.52(2), pp. 167~171.

표 1. 대체육 생산에 사용되는 주요 단백질 (유광연(2020)에서 수정 인용).

식물성 단백질	원료 출처	레퍼런스
β-Conglycinin	Soybean	Asgar et al. (2010) ¹⁹⁾
Gluten	Wheat, Rye, Barley	Green and Cellier et al. (2007) ²⁰⁾
Glycinin, Vicilin	Legumes	Joshi and Kumar et al. (2015) ²¹⁾
Legumin, Albumins, Globulins, Glutelins	Oil seeds	Kang et al. (2007) ²²⁾

- 식물성 대체육 제품에 육류 특유의 조직감을 만들어내기 위해 방사법 (Spinning process), 압출성형공정 (Thermoplastic extrusion), 그리고 증기법 (Steam texturization) 등이 사용되어 옴 (표 2)²³⁾.

표 2. 대두단백질의 육류조직 가공 (김철재(2005) 인용 내용 표로 재구성).

공정 방법	제품 구조
방사법(spinning process)	겔착제가 형성하는 구조(matrix) 내에 단백질 섬유가 다발을 형성하는 이질적 구조를 갖는 제품(spun fiber)을 제조 가능
압출성형공정(thermoplastic extrusion) 증기법(steam texturization)	진정한 섬유구조는 없지만 대두단백질이 수화되고, 층을 형성하는 썩히는 물질로 제조 가능

- 방사법 : 분리대두단백 (Isolated soy protein, ISP)를 원료로 사용하며 지방, 향신료, 색소, 영양소, 안정제 등의 첨가제를 조정하여 제품의 품질을 조정함. 방사법은 원료가격 및 운영비 등이 높은 단점이 있음.
- 압출성형공정 : 압출성형공정에서는 **탈지대두분 (Defatted soy flour)** 및 **대두농축단백 (Concentrated soy protein)** 등을 원료로 하여 조미료, 착색료, 기름 및 물을 일정 비율로 혼합하여 생산함. 혼합원료의 **수분함량과 가열온도 및 가열시간**에 따라 압출기 내의 압력, 열 및 기계적 전단력 등에 의해서 고기와 흡사한 조직감을 재현하는 방법이고 변수들의 조정에 따라 특성을 변화 시킬 수 있는 특징이 있음 (그림 5)²⁴⁾²⁵⁾.

19) Asgar MA et al. (2010). "Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs", *Comp. Rev. Food. Sci. F.*, Vol.9, pp. 513~529.
 20) Green PHR et al. (2007). *N. Engl. J. Med.*, Vol.357, pp. 1731~1743.
 21) Joshi Vk et al. (2015). "Meat analogues : Plant based alternatives to meat products-A review", *Int. J. Food Ferment. Technol.*, Vol.5, pp. 107~119.
 22) Kang EB et al. (2007). "Temporal and spatial expression of the major allergens in developing and germinating peanut seed", *Plant Physiol.*, Vol.144(2), pp. 836~845.
 23) 김철재(2005.04.30.). "식물성 단백질을 이용한 육류대체식품의 개발". 동아시아식생활학회 2005년도 춘계학술대회. 2005, pp. 75-92.
 24) Maurice TJ, Stanley DW(1978). "Texture-structure relationships in texturized soy protein IV influence of process variables on extrusion texturization", *Can. Inst. Food Sci, Technol.*, Vol.11, pp. 1~6.
 25) Giles HF(2012). "Extrusion : The definitive processing guide and handbook", William Andrew publishing.

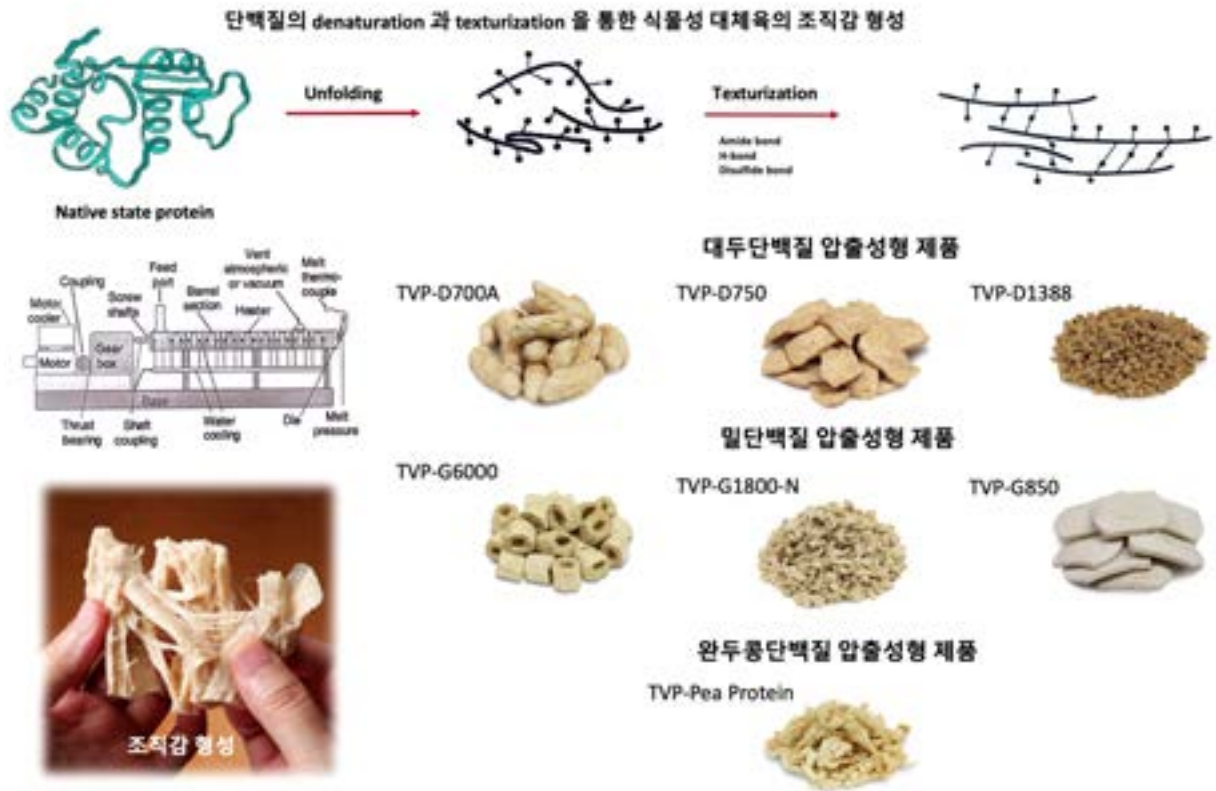


그림 5. 식물성 단백질을 이용한 압출성형공정. 단백질기반 혼합원료를 압력, 열, 기계적 전단력의 복합작용으로 신축성 성분이 신장되고 재구조를 형성하여 대체육의 조직감이 만들어짐.

출처: Hung Yang Foods, Extrusion : The definitive Processing Guide and Handbook (2012)

- 이러한 식물성 대체육 제품의 기호도를 향상 시키기 위한 많은 연구 개발이 그동안 꾸준히 이루어져 왔고 최근에는 대체육 제품의 관능적 문제를 해소한 제품들이 개발 되었음. 최근에는 육류, 가금류, 어류, 난류, 우유류 식품 고유의 조직감은 그 식품의 단백질 조성에 의해 좌우되므로 식물성 단백질 원료의 **아미노산 구조를 변형**함에 따라 돼지고기, 소고기, 생선 등 각기 다른 육류의 맛을 구현해 내는 기술까지 개발되는 수준까지 발전 하였음²⁶⁾

3. 글로벌 대체육 시장 동향

- 글로벌 대체육 시장 규모는 지속적으로 성장 중임. 2019년 기준 47억 달러 규모인 대체육 시장은 2023년까지 꾸준히 성장세가 증가할 것으로 예상됨²⁷⁾.
- 2019년 기준 주요 국가의 대체육 시장규모는 1위가 미국 (10억 달러), 2위는 영국 (6.1억 달러), 3위는 중국 (2.8억 달러), 4위는 독일 (2.6억), 5위는 일본 (2.2억)이며 대한민국은 1,740만 달러로 아직 대체육시장 태동기라고 할 수 있음 (38위).

26) Kotra 해외시장뉴스(2020.04.16.). “일본, 대두(大豆)로 만든 ‘착한고기’가 대두하다”

27) GlobalData(2020). Global Market Data.



그림 6. 2019년 기준 주요 국가별 대체육 시장 규모. 대한민국은 2019년 기준 1,740만 달러로 38위의 시장규모를 기록함.

출처: GlobalData, 2020, Global Market Data

- 전세계를 강타한 COVID-19의 영향으로 식품 안전에 대한 관심이 높아짐에 따라 소비자들의 대체육 시장에 대한 관심이 높아지고 있음²⁸⁾
- 붉은 육류와 건강 악화에 대한 연관성에 대하여 여러 기관에서 (WHO 등) 보고되면서 기존 축산물을 기피하게 된 소비자층이 식물성 소재기반 대체육이 더 건강한 제품이라는 인식이 생기면서 관심도가 높아진 주요 원인이라고 분석됨²⁹⁾.
- 이와 같은 높은 관심에 대비하여 식물성 대체육을 만드는 과정에서 실제 고기와 흡사하게 보이고 맛을 내기 위해 코코넛 오일이나 식염 등의 다양한 식품첨가제를 넣는다는 점도 함께 지적되고 있음.
- 또한 식품안전 관련 기준 및 규격이 까다로워지면서 유전자 조작기술이 (GM) 사용된 대체육 제품의 경우 판매인허가 여부가 중요 변수가 될 것으로 예상됨.
- 예를 들어 임파서블 푸드 (Impossible Foods) 의 제품의 경우 유전자 조작 (GM) 관련 물질이 함유되어 있기 때문에 유전자 조작 (GM) 식품을 엄격히 금지하는 중국의 경우 시장 진입이 어려울 것으로 전망됨.
- 전세계적으로 대체육 제품에 대한 ‘육류’ 표기를 제한하는 법안이 발의되는 추세임.
- 북미육류연구소는 (North American Meat Institute, NAMI) 인공적으로 생산되는 대체육에 대한 규제가 필요하다고 정부의 가이드라인 설정을 촉구하고 있음.
- 그 외 유럽연합의 축산업계에서는 식물성 고기에 ‘고기 (meat)’라는 단어의 사용을 금지하는 법안 초안이 통과되어 앞으로 대체육의 시장의 방향을 예측하는 주요 변수로 작용될 것임³⁰⁾.
- 향후 관련 법규의 제정에 따라 마케팅과 소비자 인식 변화에 따른 시장의 향방에 영향을 줄 것으로 예상됨. 기본적으로 ‘고기’라는 표기를 실제 가축의 도축으로 나오는 육가공 제품에만 사용 가능하게 하는 법안이 주요 내용이고 현재 대체육 업체와 정부, 기존 육류 산업계 간 법적 다툼 및 소송이 진행 중임.

28) Food navigator-Asia(2019.10.29.). No meat, no worries: Food security to drive growth of alternative meat trend in China

29) The New York Times(2019.12.03.). Fake Meat vs. Real Meat

30) NPR(2019.07.23.).What Gets To Be A ‘Burger’? States Restrict Labels On Plant-Based Meat

4. 주요 국가별 대체육 시장

1) 미국

미국시장 동향

- 미국은 그동안 채식주의자들의 전유물로 여겨지던 Meat Substitute 제품들이 최근 실제 고기와 매우 흡사해진 결과 일반 소비자들에 대한 인지도가 상승한 것으로 판단됨. 이러한 성장은 대체육 제품들이 최신 기술에 힘입어 실제 육류와 흡사한 식감, 맛, 육즙 까지 재현하게 됨으로서 기인한 것으로 보임³¹⁾. 예를 들어 비욘드 미트(Beyond Meat)는 2020년도 기준 1분기 매출이 전년 대비 141% 급등하면서 영업이익도 흑자로 전환하는 등 대체육 시장의 성장세가 두드러짐³²⁾.
- COVID-19 발생 전 2020년 3월에 대체육 시장은 전년 대비 18% 성장한 것으로 보고되었음³³⁾. 하지만 불과 두달 후 2020년 5월에 대체육의 판매는 255% 증가함. 이는 COVID-19 팬데믹 이후 생산 안전성 및 공급망 문제로 정상적인 육류 공급이 어려웠기 때문임³⁴⁾³⁵⁾.
- 예를 들어 2020년 6월 Lightlife Foods는 COVID-19으로 인한 외식 사업 손실에도 불구하고 2020년 매출이 30% 성장할 것으로 예상했다고 보고함³⁶⁾. 또한 2020년 연례 보고서에서 회사는 전년도에 비해 약 2,500만 달러의 매출 증가를 보고함³⁷⁾.
- 이러한 시장 성장세는 지속 될 것으로 보이며 향후 10년간 대체육 시장은 1,400억 달러 규모로 성장 할 것으로 보고됨³⁸⁾. 이는 전체 육류시장의 약 10% 정도로 예상됨. 최근 COVID-19의 여파로 대체육 시장은 더욱 성장가도를 달릴 것으로 보임. 대부분의 육류는 대형 육가공업체의 생산에 의해 공급이 되는 구조인데 확진자가 증가함에 따라 공장 폐쇄 등으로 공급량의 차질을 빚게 되어 육류 부족 상황에 의하여 반사이익을 보게 됨.
- 대체육의 호칭 및 표기에 관한 분쟁 및 법안이 대체육 시장의 미래에 영향을 줄 것으로 보임. 기존 축산업계에선 이미 대체육 업체들을 상대로 주정부 및 의회에 청원을 제기하여 현재 최소 25개 주에서 식물성 기반 또는 공장에서 만들어진 대체육에 대해 '고기'라는 표기를 할 수 없도록 법이 제정되었고 2019년 통과된 'The Real MEAT Act 2019'는 대체육에 대해 '인조고기' 라는 표기를 사용하도록 함³⁹⁾
- 최근 미 FDA는 식물성 대체육에 고기 특유의 육즙 맛을 가능케 하기 위하여 생산되는 콩 유래 레게모글로빈 (Leghemoglobin)의 식용색소 사용을 허가하는 방향으로 색소첨가물 안전 규정을 수정함. 임파서블 푸드에서 (Impossible Foods) 생산하는 대체육 제품의 핵심 기술로서 그동안의 논란을 뒤로 하고 관련 안전 규정이 통과됨에 따라 해당 물질을 사용한 대체육은 시장 유통이 가능하며 이는 본 제품의 저변 확대에 도움을 줄 것으로 기대됨.

31) 코트라뉴스(2019.05.15.). 고기 아닌 고기 같은 너, 美 대체육 열풍

32) 한겨레(2020.05.11.). 미국에서 대박난 대체육, 한국에선 어떨까

33) "Plant-based food retail sales hit \$5 billion - The Good Food Institute". *gfi.org*. Retrieved 2021-04-21.

34) Sternlicht, Alexandra. "Alternative Meat Sales Soar Amid Pandemic". *Forbes*. Retrieved 2021-04-21.

35) "How COVID-19 Is Changing the Way We Eat". *Food Tank*. 2020-12-05. Retrieved 2021-04-21.

36) "Plant-based food retail sales hit \$5 billion - The Good Food Institute". *gfi.org*. Retrieved 2021-04-21.

37) <https://www.greenleaffoods.com/wp-content/uploads/2021/01/greenleaf-spc-report-to-shareholders-january-2021.pdf>

38) 코트라뉴스(2020.05.07.). 미국 육류 대란, 대체육(Alternative Meat)이 뜬다

39) Food Navigator-USA(2019.10.29.). The Real MEAT Act 2019: Plant-based Brands should use term 'imitation' meat







미국시장 대체육 관련 법규 현황






- 미국 Food and Drug Administration (FDA) 의 대체육 및 대체 유제품에 대한 식품 안전 규정은 현재까지 공식적으로 개정되거나 신설되지 않은 상황임. 하지만 식품의 소비 과정에서 전문가들에 의해 일반적으로 안전하다고 검증된 식품에 GRAS (Generally Recognized as Safe) 인증을 부여하는 제도가 있음⁴⁰.
- 이러한 GRAS 제도는 미국 뿐 아니라 국제사회에서도 안전성이 높은 제도로 인식되고 있음.
- 인증 및 안전성을 부여하는 규정과는 대조적으로 대체육에 대한 연방 식품법, 라벨링 규제 법령 제정 및 이에 따른 관련 처벌 규정이 신설됨에 따라 향후 대체육 시장에 대한 예측을 어렵게 하고 있는 상황임.
- 연방 식품법 ‘The Real MEAT Act 2019’는 식물성 기반 대체육 및 배양육에 대해 ‘인조 고기’라는 표기를 해야 한다 발표함. 이에 따른 대체육 업체와 주 정부 사이의 법적 다툼이 있음.
- 전미 축산인협회는 (U.S. Cattlemen’s Association) 육류가 도축된 동물이나 가축에서 나오는 것이라는 라벨링 법 규제가 소비자들에게 정확한 정보를 전달할 것이라고 지지함.
- 미국 채식기반식품협회는 (PBFA) 대체육 기업들을 위한 자체적인 가이드라인 및 라벨링 표준을 공표하고 해당 제품이 모방한 육류의 명칭과 식물성, 채식주의, 비건 혹은 인공적으로 만들어졌다는 표기하도록 함.
- 연방 식품법 (The Real MEAT Act 2019) 및 FDA의 연방 식품, 약물, 화장품법과 (the Federal Food, Drug, & Cosmetic Act) 기타 주들의 라벨링 법 규제로 인해 대체육은 고기 또는 육류와 같은 호칭을 표기하지 못하게 됨에 따른 자체적 방침임.

미국시장 주요 브랜드 및 대체육 제품

- 미국의 대체육 시장은 육류생산이 환경에 미치는 영향, 육류 소비와 윤리, 동물 복지, 건강 및 식품안전 등 새롭게 떠오르는 소비트렌드에 맞춰 꾸준히 성장하고 있음. 기존 육가공품 업체 뿐 아니라 신규 스타트업이 시장을 선도하고 있음.
- COVID-19 이후 육류공급 차질 및 육가공 업체의 안전성 이슈로 인하여 상대적으로 긴 Shelf-Life 와 건강에 좋은 이미지를 갖고 있는 대체 육류제품의 소비가 증가함.
- 하지만 대체육을 더욱 실제 고기와 흡사하게 만들기 위해 코코넛 오일이나 식염 등의 다양한 식품첨가제를 넣는다는 점도 동시에 지적되고 있음.

40) 미국 식품의약품안전국 홈페이지(www.fda.gov)

구분	업체명	제품명	제품	특징
식물성 대체육	Marlow Foods Ltd. (여러 제품 중 대표적인 제품을 소개함)	Quorn Battered Fishless Fillets		<ul style="list-style-type: none"> • Quorn : 1985년 영국에서 시작된 대체육 제품 브랜드로 현재 시중에 유통되는 대체육 중 유일하게 전 제품을 균류 단백질인 마이코프로틴(Mycoprotein)을 원료로 함. <ul style="list-style-type: none"> • Fusarium Venenatum이라는 균류의 일종을 배양하여 만드는 Quorn의 제품들은 글루텐 프리, 비건 및 유전자 조작을 하지 않은 원료임을 강조하며 기존 유럽시장을 넘어 미국 시장에서도 인지도를 넓히고 있음. • Marlow Foods Ltd. 사의 제품군은 제품의 Occasion 별로 제품 라인업이 다양하게 잘 정리되어 있음. • Product 별로 Breaded & Crispy Coated, Chilled Food, Deli Food, Fillet & Pieces, Fishless, Meat Free Burgers, Meat Free Nuggets, Mince & Meatballs, Pies 등 여러 제품군으로 대체육을 활용한 제품들이 준비되어 있음. • ASDA, COOP, Morrisons, Sainsbur's, TESCO, SPAR, WAITROSE 등 여러 슈퍼마켓 유통업체들을 통하여 판매중
		Quorn Ultimate Burger		
		Quorn Best of British Sausages		
		Quorn Steak & Gravy Pies		
		Quorn Meatless Lasagna Entree		
		Quorn Fishless Sticks		

구분	업체명	제품명	제품	특징
		Quorn Meatless Vegetarian Turkey Roast		
		Quorn Meatless Parmigiana Cutlet Entree		
	Beyond Meat Inc.	Beyond Burger Plant-Based Patties		<ul style="list-style-type: none"> • Beyond Meat : 대체육 버거 패티, 대체 닭고기, Ground Meat, Beef Crumble, 소시지 등 신선 냉장코너 제품군이 주력 상품임. • 60개가 넘는 레스토랑 및 브랜드 업소에 입점해 있음. • 2020년 1분기 매출 9,707만 4,000달러를 기록했으며 이는 전년 동기 대비 150% 성장한 수치임. • 알리바바와 손잡고 중국시장에도 진출하는 등 최근 가장 성장하고 있는 대체육 브랜드임. • 중국내의 대체육 관련 법안의 방향에 따라 중국에서의 사업 성공 여부가 결정 될 것으로 전망됨. • Burger, Ground Meat, Sausage, Meatball, Chicken 제품군이 있음.
		Beyond Beef Crumbles Beefy		
		Beyond Sausage Plant-Based Links		
		Beyond Meatballs Italian Style		

구분	업체명	제품명	제품	특징
		Beyond Chicken Plant-Based Breaded Tenders		
	Field Roast	Chilli Mac'n Chao		
		Sage & Garlic Plant-Based Celebration Roast		<ul style="list-style-type: none"> Field Roast : 1997년 출시된 대체육 델리 및 소시지 브랜드로 신선한 통곡물, 채소 등을 기반으로 기존 대체육 브랜드 대비 프리미엄 대체육 시장을 주 타깃으로 하는 브랜드임.
		Mushroom & Balsamic Plant-Based Deli Slices		<ul style="list-style-type: none"> 현재 인수합병을 통해 라이트라이프(Lightlife)라는 또 다른 대체육 브랜드와 함께 캐나다 육가공업체 메이플 리프 푸드(Maple Leaf Foods) 산하 브랜드임
		Apple & Maple Plant-Based Breakfast Sausages		<ul style="list-style-type: none"> 메이플 리프 푸드는 미국 식물성 기반 대체육 유통시장 리더로 자리잡음.

구분	업체명	제품명	제품	특징
	Gardein	Beefless Ground		<ul style="list-style-type: none"> • Gardein : 미국 거대식품기업 콘아그라(ConAgra) 소유임. • 다양한 종류의 식물성 대체육 기반 간편 조리식품 (스프, 버거, 화이트 음식류), 냉동 HMR, 저키 제품군을 생산 • 주로 식료품점 냉동코너로 유통이 되고 있으나 자니 로켓츠(Johnny Rockets) 등 일부 체인점에서는 Gardein 제품 기반 메뉴도 판매하고 있음. • 모든 제품이 완전 채식주의의 인증을 취득했으며, 대부분이 코셔(kosher) 인증을 취득한 대체육 브랜드임.
		Spicy Breakfast Saus'age Patties		
		Sweet and Sour Porkless Bites		
		Ultimate Beefless Burger		
	Morning Star Farms	Mediterranean Chickpea Burgers		<ul style="list-style-type: none"> • Morningstar Farms : 미국 다국적 기업인 켈로그사 소유의 대체육 브랜드임. • 콩류 기반의 냉동 대체육 제품군을 1975년부터 생산함. • 다양한 종류의 소세지, 버거, 크럼블 등 간편조리식 제품군을 생산함.

구분	업체명	제품명	제품	특징
		Veggie Bacon Stripes		<ul style="list-style-type: none"> • 대체 치즈 제품도 여러 가지 라인업이 준비되어 있음. • 오랜 브랜드 역사만큼 인지도도 높으며 비욘드 미트와 같은 실제 고기와 거의 비슷한 맛을 구현하는 대체육 스타트업들이 등장하기 전까지 시장을 주도하던 브랜드 중 하나임. • Burger, Breakfast, Chik'n, Dogs, Meal Starters, Veggitizers, Incogmeato 제품군을 형성하고 있으며 제품군별 경쟁력을 갖춘 제품들이 다양하게 준비되어 있음.
		Veggie Chik'n Nuggets		
		Veggie Corn Dogs		
		Veggie Italian Sausage Crumbles		
		Veggie Buffalo Wings		

구분	업체명	제품명	제품	특징
		Plant-Based Ground		
	Lightlife	Plant-Based Burgers		<ul style="list-style-type: none"> • Lightlife는 1979년 매사추세츠주 그린필드에서 설립되어 1998년 매사추세츠주 터너폴스로 이전함. • 2000년 ConAgra Foods가 LightLife Foods를 인수함. • 2017년에 캐나다의 Maple Leaf Foods는 관련 비용과 함께 1억 4천만 달러에 Lightlife Foods를 인수함 • 2019년 LightLife는 완두콩 단백질, 마늘 가루, 비트 가루를 켈리로 사용하여 만든 식물성 버거를 선보임.
		Plant-Based Smart Bacon		
		Plant-Based Breakfast Patties		
		Original Tempeh		

※ 자료출처 : 각 제조사 및 유통사 홈페이지

2) 영국

영국시장 동향

- 영국 또한 COVID-19 사태 이후 lock-down을 거치며 대체육 제품의 판매가 크게 늘어난 것으로 파악됨. 주된 매출의 증가는 육류제품의 공급 차질에 기인한 것으로 보이나 최근 조사에 따르면 채식주의로 전향하는 소비자들의 비율이 증가하는 추세로 나타나 향후 대체육 수요 증가에 영향을 미칠 것으로 예상됨⁴¹⁾⁴²⁾. 이러한 트렌드는 대다수의 (약 48%) 영국 소비자들이 육류제품 소비 감소가 환경오염을 줄이는 데에 많은 도움이 될 것으로 인식하고 있는 등 친환경 소비에 대한 관심이 높아진 것에 기인한 것으로 판단됨⁴³⁾.
- 대체육의 주요 소비는 주로 온라인 구매 경향의 높은 신세대를 중심으로 증가하고 있는 것으로 조사되었으며 특히 플렉시테리언 (Flexitarian, 주로 채식을 하지만 가끔 고기나 생선을 먹는 사람) 트렌드가 인기가 상승함에 따라 이러한 소비자 층을 중심으로 꾸준한 시장 성장을 이룰 것으로 전망됨.
- 식물성 대체육에 대한 인기가 최근 급증하여 대체육 제품 수가 크게 증가하고 있는 추세임. 영구 슈퍼마켓 시장 1위 기업인 테스코는 (Tesco) 최근 여러 대체육 기반 메뉴를 출시하고 Quorn 및 Viverra의 신규 대체육 제품 그리고 Beyond Meat의 Beyond Burger 라인업을 도입하는 등 대체육 시장 성장을 주도하고 있음⁴⁴⁾. 또한 대표적인 프리미엄 슈퍼마켓인 웨이트로즈는 (Waitrose) 영국 최초로 비건 섹션을 설치하여 대체육 제품의 시장 규모를 늘려가고 있음.
- 이러한 대체육의 인기에 힘입어 다양한 대체육 관련 메뉴들이 관련업체에 (스타트업, 식품업체, 유통업체) 의하여 활발히 출시중이며 대체육기반 식품의 대중화에 기여하고 있음⁴⁵⁾.

영국시장 대체육 관련 법규 현황

- EU 차원에서는 대체육 제품 관련 표기 및 라벨링 규제 법안이 발의된 상태이지만 영국에서는 이슈가 불거지고 있지 않는 상태임.
- 영국은 많은 제품을 EU 국가에서 수입해 왔는데 브렉시트로 (Brexit) 인하여 육류 공급 또한 영향을 받을 것으로 보여 육류 공급이 수요를 감당하기 어려운 상황이 올 수도 있음. 따라서 이러한 상황의 전개에 따라 대체육 제품의 수요를 더 증가시킬 가능성이 높아 보임.

41) Seafish(2019.03). Protein consumption and recent trends in the UK

42) The Vegan Society(2020.04.29.). 1 in 5 Brits cut down on meat consumption during COVID-19 pandemic

43) Mintel Press Office(2020.01.17.). PLANT-BASED PUSH: UK SALES OF MEAT-FREE FOODS SHOOT UP 40% BETWEEN 2014-19

44) Retail Insight Network(2018.08.16.). Best vegan supermarket: How are big UK retailers approaching the trend?


45) The Guardian(2020.02.09.). Hold the beef: how plant-based meat went mainstream

영국시장 주요 대체육 제품

구분	업체명	제품명	제품	특징
식물성 대체육	Marlow Foods Ltd. (여러 제품 중 대표적인 제품을 소개함)	Quorn Battered Fishless Fillets		<ul style="list-style-type: none"> • Marlow Foods Ltd. 사의 제품군은 제품의 Occasion 별로 제품 라인업이 다양하게 잘 정리되어 있음 (Mycoprotein 기반 제품) • Product 별로 Breaded & Crispy Coated, Chilled Food, Deli Food, Fillet & Pieces, Fishless, Meat Free Burgers, Meat Free Nuggets, Mince & Meatballs, Pies 등 여러 제품군으로 대체육을 활용한 제품들이 준비되어 있음. • ASDA, COOP, Morrisons, Sainsbur's, TESCO, SPAR, WAITROSE 등 여러 슈퍼마켓 유통업체들을 통하여 판매중 • 2016년부터 시작 하였으며, Plant-based (Pea Protein 기반 제품) Beef, Pork, Chicken 으로 항목을 나누어 제품군을 형성. • 2019년도 부터는 미국 고급 슈퍼마켓 업체인
		Quorn Ultimate Burger		
		Quorn Best of British Sausages		
		Quorn Steak & Gravy Pies		
	The Meatless Farm Co.	Plant-Based Ground (Beef)		

구분	업체명	제품명	제품	특징
		Plant-Based Breakfast Sausages (Pork)		<p>Wholefoods 와 파트너쉽을 체결하여 미국 시장에도 진출함.</p> <ul style="list-style-type: none"> 2019년도에는 영국의 Pub 프랜차이즈인 Wetherspoons 에 버거 패티를 공급하여 영국의 최초의 식물성 대체육 버거를 선보임.
		Plant-Based Chicken Nuggets (Chicken)		
	Hain Celestial Group	Linda McCartney's Vegetarian 1/4 Burger		<ul style="list-style-type: none"> Hain Celestial Group 미국 소재 다국적기업으로서 Terra, Jason, Avalon Organics, Earth's Best 등 오랜기간동안 오가닉 관련 제품을 (식품 및 퍼스널케어) 판매해온 익숙한 회사들을 거닐고 있음. <ul style="list-style-type: none"> Linda McCartney's 는 91년도에 설립하여 Texturized Vegetable Protein (TVP) 이라는 defatted soy flour을 이용하여 생산한 제품들을 판매. UK, Norway, New Zealand, Ireland, Australia, South Africa 등에서 Meat Analogues 기반 버거, 소세지,
		Linda McCartney's Vegetarian Chicken Pieces		
		Linda McCartney's Vegetarian Pulled Pork Bao Bun Meal Kit		

구분	업체명	제품명	제품	특징
		Linda McCartney's Vegetarian Sausages		<p>미트볼 등을 판매.</p> <ul style="list-style-type: none"> TVP : Texturized Vegetable Protein 의 약자이며 Soy Bean Oil을 추출한 후 만들어지는 Byproduct임.
	Vivera	<ul style="list-style-type: none"> Plant Burger 		<ul style="list-style-type: none"> 유럽에서 세 번째로 큰 Plant Based 대체육 업체로 지난 4월에 브라질 소재 JBS 그룹에 매각 됨. JBS는 판매규모로 전세계에서 가장 큰 육가공 회사임. 육가공에서 전세계적으로 급속히 성장중인 대체육 시장에 진출하기 위함임. 대체육을 기반으로 여러 제품군으로 대체육을 활용한 제품들이 준비되어 있음. ASDA, COOP, Morrisons, Sainsbur's, TESCO, SPAR, WAITROSE 등 여러 슈퍼마켓 유통업체들을 통하여 판매중
		<ul style="list-style-type: none"> Plant Bangers Lincolnshire Style 		
		<ul style="list-style-type: none"> Plant Steak 		

구분	업체명	제품명	제품	특징
		<ul style="list-style-type: none"> Plant Bacon 		

※ 자료출처 : 각 제조사 및 유통사 홈페이지

3) 중국

중국시장 동향

- 중국의 콩류 식품의 역사는 상당히 긴 시간동안 발전을 해옴. 이와 밀접한 연관이 있는 대체육 식품 관련 시장은 상당한 규모로 관측되며, 채식주의자만 5,000만 명 이상으로 예상됨. 2014년 이후 중국의 대체육 시장은 매년 33.5%씩 급속도로 성장해 2018년 기준 100억 달러 규모로 성장함.
- 중국의 대체육 시장 성장은 변화하는 식습관, 즉 육류 소비에 따른 건강 악화 우려와 젊은 층 사이에서 확산되는 채식주의에 대한 긍정적 영향력이 큰 것으로 보임⁴⁶⁾. 또한 중국 소비자들에게 대체육 및 식물성 소재기반 식품은 오랜 불교 및 도교의 영향으로 인하여 생소하지 않으며, Gufu Business Information Consulting (GFIC)의 조사에 따르면 다른 국가 대비 매우 높은 74%의 중국인이 대체육에 거부감이 없을 것으로 예상됨⁴⁷⁾.
- 중국 대체육 시장에서 식품안전 관련 문제가 (아프리카 돼지 열병) 큰 변수로 떠오르면서 육류시장이 큰 타격을 입었고, 이는 중국 소비자들의 대체육에 대한 관심으로 이어짐. 이러한 식품안전에 대한 중국 소비자들의 우려 및 인식 변화가 주요 성장 동력으로 분석됨.
- 따라서 중국 대체육 시장의 경우 서양 시장과 다르게 환경영향 및 윤리인식 기반 새로운 소비 패러다임에 의한 시장의 성장이라기보다는 기존 육류소비의 문제를 보완하고 전통적 채식 선호 트렌드를 계승하는 방향인 것으로 예상됨⁴⁸⁾.

중국시장 대체육 관련 법규 현황

- 2016년 중국 정부가 발표한 ‘규정식 권고안’은 2030년까지 자국민들의 육류섭취량을 절반으로 줄여 성인병 예방 및 온실가스 감축을 목표로 하고 있음. 이에 따라 대체육 시장도 성장할 가능성이 큰 것으로 보임⁴⁹⁾.

46) China Briefing(2019.08.21.). Is a “Meatless Meat” Revolution Really Underway in China?*

47) Vegconomist(2019.10.04.). China Advancing Development of Plant-Based and Cell-Based Meat Industry

48) Food navigator-Asia(2019.10.29.). No meat, no worries: Food security to drive growth of alternative meat trend in China,

49) 이데일리(2020.07.09.). 中 ‘식물성 고기’ 먹기 시작했다는데...대체육株 사들까

- 중국 정부의 판매 허가 절차는 오랜 기간 식품 안전 이슈가 끊이지 않아 엄격한 수준을 유지하고 있으며, 특히 유전자 변형 (Genetically Modified, GM) 식품 판매 금지 규정은 일부 대체육 생산업체들에겐 큰 장애물일 것으로 보임.
- 그 예로 대표적인 대체육 기업 임파서블 푸드 (Impossible Foods)는 육즙효과를 내는 레그 헤모글로빈 (Leghemoglobin, 식물의 뿌리에서 추출한 철분이 함유된 붉은 색소. FDA 안전성 최종 승인 받음) 생산 기술을 유전자 변형 식품으로부터 생산 하는데 이에 따라 중국시장 진출에 어려움이 예상되며 이와 같은 식품 안전 규정은 중국 대체육 시장 경쟁구도에 영향을 줄 것으로 보임⁵⁰⁾.



중국시장 주요 대체육 제품

- 향후 중국 대체육 시장을 유형별로 나누었을 때, 유형별 대체육 시장은 모두 지속적으로 성장해 3년 간 평균 32.2% 증가할 전망이다.
- 많은 수의 중국 토종 대체육 업체들은 최근 제품 개발 및 출시를 진행하고 있으며, 널리 유통되어 인지도가 높은 토종브랜드는 아직 부족한 것으로 보이나 점차 다양한 중국 업체들이 중국 소비자들의 입맛에 맞는 대체육 제품을 출시함.
- 젠미트(Zhenmeat)는 베이징에 본사를 둔 대체육 관련 신규 스타트업으로 올해 상반기 휘귀와 꺾바로우 등으로 요리하기 좋은 식물성 기반 대체육 제품을 전국 휘귀 레스토랑 등에 납품하기 시작함. 젠미트의 CEO 빈스 루는 중국 소비자들의 입맛에 맞는 중식 요리에 주로 쓰일 수 있는 대체육 제품을 중점적으로 출시 판매하겠다고 밝힘.
- 대체육 관련 사회적 벤처그룹 그린먼데이(Green Monday)는 기후 변화, 식품공급안전, 공공보건 등의 이슈 해결을 목표로 하며 2012년 지구의 날에 홍콩에서 창립되었으며 이 그룹 산하 옴니푸드는 캐나다에 기반을 둔 식품기술 회사임. 그린 먼데이는 옴니포크(OmniPork) 등과 같은 대체 돼지고기 제품을 알리바바의 온라인 쇼핑몰 티몰(Tmall)을 통해 중국시장에 판매중임.
- 저장성 진화시에 기반을 둔 대규모 햄육가공품 생산업체 Jinzi는 미국 기업 듀폰 (DuPont) 과의 제휴를 통해 대체육 쇠고기를 사용한 파이 및 다양한 대체육가공품을 출시하며 대체육 시장에 본격적으로 진출함. 회사에 따르면 알리바바가 운영하는 온라인 쇼핑몰 티몰 (Tmall)에서 매일 100개 이상의 제품이 판매된다고 밝힘.
- 해외 유명 대체육 기업들도 중국 시장 진출에 공을 들이고 있음. 특히 2009년 미국 LA에서 창립된 유명 식물성 대체육 기업 비온드 미트(Beyond Meat)의 경우 다양한 업체들과의 파트너십을 통해 중국시장에서 판매량 및 점유율을 높여 나가고 있음.
- 비온드 미트는 알리바바와 제휴를 통해 알리바바 운영 신선식품매장 프레쉬포(Freshippo; 허마셴성)의 상하이 매장 50곳에서 식물성 대체육 버거 패티를 판매하며 추후 베이징 및 항저우 매장으로 늘려 나갈 계획임. 또한 스타벅스, 옴차이나 소속 브랜드 KFC, 피자헛 등에서도 비온드 미트의 대체육 제품을 판매하고 있어 중국 대체육 시장 내 점유율이 증가할 것으로 전망됨.

50) Marketing To China(2020.05.19.). HOW TO ENTER INTO CHINA'S PLANT BASED MARKET?

구분	업체명	제품명	제품	특징
식물성 대체육	Beyond Meat Inc.	Beyond Burger		
	치산식품 (齊善食品, Qishan)	다산라창 大善腊腸		<ul style="list-style-type: none"> • 1993년도에 설립된 채식주의 식품 생산기업으로 중국 내 최대 규모의 공장 보유, 콩, 버섯 등 가공 제품이 주 품목. • 중국 내 채식문화를 알린 선도 기업으로 현재 동남아, 유럽, 미국 등 세계적인 판매 네트워크를 보유하고 있으며 200여 개 관련 제품 출시.
		다산홍창 大善紅腸		
쌍타식품 (双塔食品, Shuangta Food)	부드러운 단백질 쇠고기 패티		<ul style="list-style-type: none"> • 면과 대두 가공품을 주 생산 품목으로 하는 브랜드로 2014년 인공육 산업으로 업무영역 확장, 완두콩 단백질 인공육 제품 개발 추진. • 2017년도 매출 3억 위안, 2018년도 매출 5억 위안을 기록하며 매년 고속 성장, 2020년도 1분기 영업수익은 전년 대비 18.3% 증가. 	

구분	업체명	제품명	제품	특징
		돼지고기 안심 스트립		
		Q 엘라스틴 채식 비프볼		
		신선한 맛 단백질 햄		
스타필드 (星期零, Starfield)		고기 파이		<ul style="list-style-type: none"> • 선전시 인공육 전문 브랜드로 식물성 인공육 가공제품, 간식 등 제품 생산. • 베이징 공상대학교 식품건강학과 교수진과 공동으로 제품 품질 개선을 위한 연구 추진, 풍미 개선에 성공. • 1세대 인공육 제품 2019년 9월 출시, 온·오프라인 매장 운영 확대를 통해 시장 확장.

구분	업체명	제품명	제품	특징
		파니니		<ul style="list-style-type: none"> • 중국풍, 서양식, 아시아 풍미 계열로 제품군을 개발하여 구성함. • 특이점은 아시아 풍미 계열에 대체육을 이용한 비빔밥, 김밥 등의 메뉴용 제품 라인업이 인상적임.
		한국 비빔밥		

※ 자료출처 : 각 제조사 및 유통사 홈페이지

4) 일본

일본시장 동향

- 일본 시장 또한 전세계 트렌드에 따라 대체육 관련 연구 및 개발이 이루어져 제품이 출시되고 있음.
- 일본의 대표적인 식육가공품 제조사인 니혼햄(NH Foods)은 'Natu Meat'라는 자체 개발 대체육 제품을 출시한다고 발표함⁵¹⁾.
- 감자칩으로 유명한 식품가공업체 코이케이야(Koikeya)는 대두 단백질로 만들어진 건강을 표방하는 가라아게 제품 '죄없는 가라아게(Karaage without Sin)'를 출시하며 인기를 끌었고 향후 건강 트렌드 확산에 따라 다양한 대체육 제품이 주목을 받을 것으로 보임.

51) The Asahi Shimbun(2020.02.08.). NH Foods dishes up alternative meats for family tables at home

5) 대만

대만시장 동향

- 대만의 채식인구는 2018년 기준 330만명으로 전체인구 (2,359만) 대비 14%에 달함. 전체인구는 대한민국의 1/2 수준인데 비해 채식 인구는 한국 (2018년도 기준 176만명)보다 약 2배 가량 많음.
- 대만 식품공업발전연구소에 의하면 대만의 채식 시장규모가 연간 600억 대만달러 (원화 약 2조3천억 원)에 달할 것으로 추정됨.

6) 국내 시장

국내시장 동향

- 국내 대체육 시장은 태동기로서 시장진입의 장벽이 낮은 편임. 최근 COVID-19 사태를 거치며 높아진 대체육 제품에 대한 전세계 트렌드에 따라 롯데푸드, 동원F&B, CJ제일제당, 풀무원, 농심, 대상 등의 업체들이 적극적으로 대체육 시장에 진출하고 있음.
- 국내 대체육 시장은 식물성 고기 시장 성숙 단계로 볼 때 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 채식주의 트렌드가 생겨나면서 식물성 대체육 수요 증가로 이어지는 추세임.
- 식물성 대체육을 제조·유통하는 주요 기업은 롯데푸드, 롯데지알에스, 롯데마트, 지구인컴퍼니, 동원 F&B 등이 있으며, CJ제일제당, 풀무원, SPC 삼립 등의 회사들은 시판을 목적으로 연구·개발 단계에 있음⁵²⁾.

국내시장 대체육 관련 법규 현황

- 정부는 인구 구조, 소비, 유통 트렌드 분석으로 성장 가능성이 크고 사회 경제적으로 중요한 5대 유망분야로 대체식품 등 맞춤형 특수 식품을 선정함⁵³⁾.
- 농림축산식품부와 식품의약품안전처는 2022년까지 전문가 협의체를 운영하여 대체식품에 관한 표시·규격 등 관련 기준을 마련하고, 안전관리 절차 등 관리 방안을 마련하기 위한 논의가 진행 중임⁵⁴⁾.
- 식품의약품안전처에서는 19년도부터 대체단백질식품에 대한 주요국 관리 및 연구 동향을 조사해오고 있으며 산·학·관 대체단백질식품 전문가협의체를 운영해오고 있음.
- 국내의 대체단백질 관련 규제관리 동향은 전래적 식용근거가 있는 식물 등을 사용하여 만든 단백질 식품은 기존 ‘식품의 기준 및 규격’에 따라 관리를 하고 새로운 식품원료는 ‘식품등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준’에 따른 인정이 필요하다는 근거 하에 관리중임. 예를 들어 새로운 식용곤충 등의 단백질 원료는 ‘식품의 기준 및 규격’ 식품원료 목록에 미등재 원료로서 새로운 원료에 해당됨⁵⁵⁾.
- 따라서 국내에서 식품으로 섭취한 근거가 없는 새로운 식품원료는 안전성 등의 평가를 거쳐 식품공정에 등재될 때 까지 신청한 자에 한하여 한시적으로 기준 및 규격이 인정됨.





52) 한국농수산식품유통공사(2020). ‘2020 가공식품 세분시장 현황’



53) 농림축산식품부(2019.12.04.). 보도자료


54) 농림축산식품부·해양수산부·식품의약품안전처(2019.12.03.). 보도자료

55) 대한수의학회 2021년 추계 학술대회. Food Safety Consideration and Challenges for the Cell-Cultured Meat (2021.10.29.)

국내시장 주요 대체육 제품

구분	업체명	국내 대체육 제품 주요 연혁	
식물성 대체육	롯데푸드	<ul style="list-style-type: none"> • 2019년 4월, 기타가공품 카테고리에서 국내 최초 한국 비건인증원에서 비건 인증을 받으며 밀 단백질을 기반으로 압출한 순식물성 단백질 원료로 만든 식물성 대체육인 ‘엔네이처 제로미트’ 론칭. • 2019년 4월, 대체육류 ‘엔네이처 제로미트’ 론칭 후 ‘엔네이처 제로미트 너겟’, ‘엔네이처 제로미트 가스’ 2종 출시 후 온라인몰과 대형 할인마트, 슈퍼체인에 유통시키며 1년 간 누적 판매량 약 6만 개 달성. • 2020년 3월, 롯데중앙연구소, 바이오제네틱스, 워드바이 오코스팜과 식물성 대체육의 육즙 등의 연구 개발을 위한 MOU 체결⁵⁶⁾. • 2020년 7월, ‘제로미트’로 브랜드 및 디자인 리뉴얼하여 ‘제로미트 배지 너겟, 제로미트 배지 가스’ 재출시, ‘제로미트 배지 함박’ 2종을 출시하여 제품 라인업 확대. 	 <p style="text-align: center;">제로미트</p>
	롯데 지알에스	<ul style="list-style-type: none"> • 2017년, 롯데중앙연구소와 대체육 버거 개발 진행⁵⁷⁾. • 2019년 6월, 식물성 패티를 이용한 ‘리아 미라클 버거’ 출시. • 2020년 3월, 국내 버거 프랜차이즈 최초로 식물성 패티·빵·소스를 이용한 ‘미라클 버거’ 전국 판매. 	 <p style="text-align: center;">리아 미라클버거</p>
	바이오 믹스테크	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년 5월, 콩, 밀에서 추출한 식물성 단백질을 기반으로 곤약, 해조류를 이용한 대체육 상품 ‘고기 대신’ 론칭⁵⁸⁾. • ‘비건 양념 순살 후라이드’, ‘비건 한입까스’ 등 총 대체육 6종 시리즈 출시. 	 <p style="text-align: center;">고기대신 양념갈비살</p>
	지구인 컴퍼니	<ul style="list-style-type: none"> • 2017년, 식물성 고기를 사용한 ‘언리미트’ 대체육 개발⁵⁹⁾. • 2019년 11월, ‘언리미트 만두’ 2종 출시. • 2019년 하반기, ‘세븐일레븐’, ‘풀무원’에 제품 입점. • 2020년 1월, 홍콩 식자재유통기업 ‘그린커먼’과 홍콩 시장에 진입. • 2020년 1월, 농림축산식품부의 ‘이달의 A-벤처스’에 선정. • 인도, 태국 등과 ‘언리미트’ 제품 수출 계약 진행 중. 	 <p style="text-align: center;">언리미트 폴드 바비큐</p>

구분	업체명	국내 대체육 제품 주요 연혁	
	동원 F&B	<ul style="list-style-type: none"> 2018년 12월, 100% 식물성 대체육 제품 판매하는 미국 '비온드미트'와 독점 공급계약⁶⁰⁾해 2019년 2월 단독 수입 유통. 2020년 4월, '비온드비프', '비온드소시지' 출시하며 제품 라인업 확대. 	 <p>비온드비프</p>
	그랜드 하얏트 롯데리아 미라클버거	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 7월, '비온드미트'의 '비온드버거'패티와 비건 치즈, 비건마요네즈 등을 사용해 국내 호텔 업계 최초 비건 버거 선보임. 야외 수영장 메뉴로 출시. 	 <p>그랜드하얏트 비건버거</p>
	세븐 일레븐	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 11월, 국내 대체육 스타트업 기업 '지구인 컴퍼니'의 100% 식물성 고기 '언리미트' 대체육을 이용해 '버섯 콩불고기 김밥', '콩불고기 버거' 출시하며 '언리미트 만두' 유통. 2019년 11월, 롯데푸드에서 생산 및 제공한 식물성 햄버거 패티 이용, '콩불고기버거', '버섯 콩불고기 김밥' 연이어 출시. 2020년 5월, 숙명여대 맞춤식품연구실⁶¹⁾과 협업으로 콩불고기를 내세운 '그린미트 간편식' 시리즈 출시(롯데푸드 패티협업). 	 <p>그린미트 김밥</p>
	CU	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 11월, 편의점 업계 최초 100% 순식물성 단백질 고기를 이용한 간편식 '채식주의 도시락', '채식주의 버거', '채식주의 김밥'출시(채식주의 버거에는 롯데푸드 공급 패티 사용). 	 <p>CU 채식주의 간편식 시리즈</p>
	사조대림	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 4월, 채식주의자를 위해 100% 순식물성 단백질 비건 만두 '대림선 0.6채담만두' 출시 한국비건인증원 국내 만두 유통사 최초 '대림선 0.6채담만두' 비건만두로 공식 인증 	 <p>대림선 0.6채담만두</p>

구분	업체명	국내 대체육 제품 주요 연혁	
	쏘이마루	<ul style="list-style-type: none"> • 2010년 10월, 최초 설립되며 당해연도 11월 국내제조 콩단백 독점 OEM계약 체결 • 2017년 3월, HACCP 인증 받음 • 2019년 11월, 세븐일레븐과 CU에 콩고기 납품, 제품 출시 • 2020년 1월, 미니스톱에 제품 론칭 	
			쏘이마루 참좋은 비건스테이크

※ 자료출처 : 각 제조사 및 유통사 홈페이지

■ 대체육에 대한 전통축산업계의 반응

- 대체육 시장에 대해서 전통축산업계에서는 우려의 목소리를 내고 있는 실정임. 북미육류 연구소는 (North American Meat Institute, NAMI) 인공적으로 생산되는 대체육에 대한 규제가 필요하다고 정부의 가이드라인 설정을 촉구하고 있음. 그 외 미국과 유럽의 축산업계에서는 식물성 고기에 ‘고기 (meat)’라는 단어의 사용을 금지하는 법안을 요구하고 있는 실정임⁶²).
- 또한 식물성 대체육이 기존 축산물에 비하여 건강하다는 인식이 형성되는 것에 이는 항상 올바른 것은 아니라는 의문들을 제기함⁶³).
 - 예를 들어 대체육 시장을 선도하고 있는 ‘비온드 미트 (Beyond meat)’와 ‘임파서블 푸드 (Impossible Foods)’에서 나오는 제품들의 성분을 보면 식물성 단백질임에도 포화지방이나 칼로리는 기존 육류와 비슷하거나 더 높다는 사실을 지적하고 있음.
 - 그 외에 식물성 대체육을 만드는 과정에서 실제 고기와 흡사하게 보이고 맛을 내기 위해 코코넛 오일이나 식염 등의 다양한 식품첨가제를 넣는다는 점도 지적되고 있음.
- 대체육 분야의 빠른 발전과 함께 제기되고 있는 이러한 이슈들을 각 분야의 전문가들이 해결할 수 있는 방안을 모색하는 것이 가장 바람직 할 것임.

■ 동물세포를 증식해서 생산하는 배양육

- 전통 식육 식품을 대체하는 것이 주 목적인 식물성 대체육은 많은 발전이 있음에도 불구하고 여전히 완벽히 기존의 육류를 대체하지 못함. 식물성 대체육의 조직감 개선 관련 연구는 현재도 진행형 이고 대체육의 주요 단점인 글루텐에 지나친 의존도 및 근섬유 구조 모방 및 지방조직 재현에 대한 연구가 중점적으로 이루어지고 있는 실정임 (그림 7).

56) 위키리크스한국(2020.03.02.). 롯데중앙연구소, MOU 통해 식물성 대체육 개발 박차

57) 인사이트(2020.06.11.). 고기 1도 없는데 육식주의자마저 빠져들게 한 롯데리아 신상 ‘롯데리아 미라클 버거’

58) 아시아경제(2020.05.07.). 롯데마트, 비건 식품 ‘고기 대신’ 시리즈 6종 선보여

59) 비즈니스포스트(2020.02.07.). 농산물 재고 주목할 민급채, 지구인컴퍼니 ‘식물성 고기’로 글로벌 간다

60) EBN(2018.12.10.). CJ·동원·풀무원 ‘식물성 육류’에 꽂히다

61) 파이낸셜뉴스(2020.05.29.). 세븐일레븐, 콩불고기 활용한 ‘그린미트 간편식’ 선보

62) 미래정책연구실.(2019). “대체육 주요 동향”, 농업농촌식품동향, Vol.21, pp. 43~45.

63) 강경주(2019). [이슈+] 고기의 개념이 바뀐다...대체육 한국 시장 진입 본격화, 한국경제.



그림 7. 식물성 대체육의 주요 현행기술 및 개선 방안.

- 이러한 식물성 대체육의 단점을 보완하는 목적으로 동물 세포를 배양해서 생산하는 ‘배양육’이 최근 급부상함. ‘배양육’은 ‘실험실고기 (In vitro meat)’ 이라고도 불리며 최신 생명공학기술이 융합된 대체 단백질 중 하나로서 최근 주목받고 있는 분야임.
- 소, 돼지, 닭 등의 가축에서 줄기세포를 분리하여 일정기간 배양과정을 거쳐 육류처럼 만들어지는 배양육은 기존 공장식 축산업과 비교해 환경에 끼치는 영향이 훨씬 적다는 것이 큰 장점임 (그림 8)⁶⁴⁾.
- 배양육은 2000년대 초반부터 기술연구가 시작되었으며 소의 근육줄기세포를 이용한 배양기술이 진화함에 따라 상업화를 위한 스타트업들이 생겨남 (Mosa Meat, Memphis Meat 등).
- 멤피스 미트 (Memphis Meats, 현재 Upside Foods로 변경)는 2016년에 소고기 미트볼을, 2017년에는 세계 최초로 닭 배양육과 오리 배양육을 완성함.

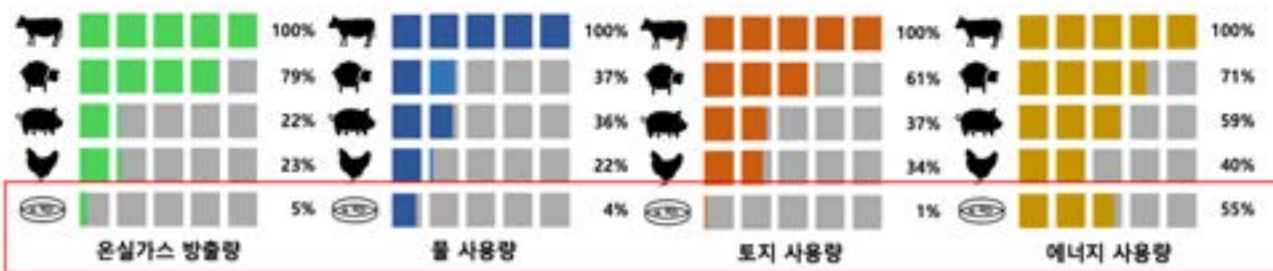


그림 8. 기존 공장식 축산과 비교, 배양육의 환경에 대한 영향 (온실가스 방출량, 물, 토지 및 에너지 사용량).

64) Tuomisto, H. & Mattos, M.(2011). “Environmental Impacts of Cultured Meat Production”, Environmental science and technology, pp.6117-6123.

■ 배양육 현황

- 배양육은 분명 잠재적인 장점이 있지만 배양육 제품을 실제로 소비자들이 구입을 할지는 아직 판단하기에 이릅니다. 배양육은 과도하게 기술집약적이고 익숙하지 않다는 이유로 소비자들에게 외면을 받을 수도 있다는 의견이 있음.
- 하지만 동물의 도축과정 없이 동물로부터 채취한 세포를 통하여 배양육으로 생산될 수 있다는 점이 크나큰 장점으로 부각되어 점점 인식은 좋아지고 있는 추세임.

■ 배양육 개선방향

- 배양육도 식물성 대체육과 마찬가지로 육류 본연의 맛을 만들어내야 소비자에게 결국 어필할 수 있음⁶⁵⁾⁶⁶⁾.
- 따라서 맛, 외양, 식감 및 영양적인 측면에서 기존 육류를 거의 완벽하게 모방을 해야만 경쟁이 있을 것임.
- 고기의 단백질을 구성하고 있는 액틴 (Actin), 마이오신 (Myosin)과 마이오글로빈 (Myoglobin)의 구조 및 조성을 대량생산 단계에서 조절이 가능한 기술 확보가 가장 중요함⁶⁷⁾.
- 충분한 양의 마이오글로빈은 배양육의 색, 영양 및 맛을 내는 필수 요소이며 맛의 최적화를 위해서는 여러 펩타이드 단편 및 방향족 화합물 조합의 최적화가 이루어져야함.
- 세부적으로 지방함량 조절 및 더욱 큰 크기의 근섬유 및 두께가 두꺼운 (센티미터 스케일 이상) 배양육을 장기배양 및 최적화 할 수 있는 기술 확보가 가장 중요함.
- 이러한 문제점은 기존의 재생의학 (Regenerative Medicine) 분야에서 발달한 조직공학 (Tissue Engineering) 기술을 접목하여 해결하려는 시도가 이루어지는 중임.

65) Post, Mark J.(2013). "Cultured beef: medical technology to produce food", J Sci Food Agric, 94: 1039-1041.

66) Stagsted, J. (2013). "Move aspects of health promoting compounds in meat". Meat Science, Vol95, pp.904-911.

67) Post, Mark J.(2013). "Cultured beef: medical technology to produce food", J Sci Food Agric, 94: 1039-1041.

제2세부 과제

세계 식물성 단백질 자원의 수급
및 활용 현황과 전망

The Present and Future of World
Plant-based Protein Market

연구책임자 : 김민수 애그스카우터 대표

연구기간 : 2021년 1월 1일 ~ 2021년 10월 31일

2021년 10월

세계 식물성 단백질 자원의 수급 및 활용 현황과 전망

김민수

애그스카우터 대표

목차

1. 식물성 단백질 자원의 종류와 특징
 - (1) 식물성 단백질 개념과 자원의 종류
 - (2) 식물성 단백질 자원의 특징
2. 식물성 단백질 자원의 수급
 - (1) 콩과 식물
 - (2) 고대 곡물
 - (3) 곡물
3. 식물성 단백질 자원의 활용
 - (1) 콩 가공 식품
 - (2) 콩 스투
 - (3) 식물성 단백질 식품의 개발
4. 식물성 식품 시장의 동향 및 전망
 - (1) 식물성 식품 시장의 동향
 - (2) 식물성 식품 시장의 성장 전망

참고 문헌

세계 식물성 단백질 자원의 수급 및 활용 현황과 전망과 관련하여 첫 번째 장에서는 식물성 단백질 자원의 종류와 특징에 대해서 살펴본다. 식물성 단백질의 개념을 이해함과 동시에 식물성 단백질 자원으로는 무엇이 있는지를 알아보고, 그 다음으로 앞서 제시된 식물성 단백질 자원의 개별적인 특징들을 검토한다.

두 번째 장에서는 식물성 단백질 자원의 수급에 대해서 살펴본다. 식물성 단백질 자원으로 평가받는 각 품목의 세계 생산량을 파악함과 동시에 국가별 생산량과 교역량을 비교해 봄으로써 식물성 단백질 자원의 수급 관계가 어떻게 형성되어 있는지를 이해하는데 중점을 둔다.

세 번째 장에서는 식물성 단백질 자원의 활용에 대해서 살펴본다. 식물성 단백질 자원을 활용한 세계적인 식품과 음식(요리)로는 무엇이 있는지를 먼저 알아보고 난 이후 동물성 단백질을 대체하는 식물성 단백질 식품들의 개발에 대해서 논의코자 한다.

마지막 네 번째 장에서는 식물성 식품 시장의 동향 및 전망에 대해서 살펴본다. 먼저 식물성 식품 시장의 동향을 파악하고 난 후 이 시장을 주도하는 기업들이 어떠한 면모를 갖추고 어떠한 성장 전략을 갖춰나가는지를 검토하고자 한다. 또한 세계 식물성 식품 시장을 이끌고 있는 미국의 사례를 통해 미래의 식물성 식품 시장의 성장을 가늠해본다. 미래의 식물성 식품 시장을 누가 주도할 것이며 성장의 걸림돌이 되는 문제는 무엇이 있는지도 고찰해 본다. 아울러 식물성 식품 시장의 근간이 되는 식물성 단백질 자원 시장의 중요성도 일별코자 한다.

1. 식물성 단백질 자원의 종류와 특징

(1) 식물성 단백질 개념과 자원의 종류

단백질(protein)은 사람의 신체를 이루는 주성분으로, 우리 몸에서 물 다음으로 많은 양을 차지한다. 단백질은 많은 수의 아미노산이 결합해 만들어진 유기물로서 체내에서 생성할 수 있는 비필수 아미노산과 체내에서 합성이 불가능해 반드시 식품으로 섭취해야 하는 필수 아미노산으로 구분된다.¹⁾

단백질은 크게 동물성 단백질과 식물성 단백질로 나눌 수 있다. 동물성 단백질은 소고기나 돼지고기, 닭고기, 달걀이나 우유에 들어 있는 단백질인 반면, 식물성 단백질은 콩이나 곡류에 들어 있는 단백질을 말한다.

본 연구의 핵심인 식물성 단백질은 탄소, 수소, 산소, 질소로 구성되며 기본 단위는 아미노산이다. 동물성 단백질 식품이 지닌 포화지방과 콜레스테롤로 인한 건강 문제나 높은 탄소 배출량과 물 사용량 등의 환경 문제로 인해 식물성 단백질이 주목을 받고 있다. 식물성 단백질은 '플랜트 프로테인(plant protein)', '베지터블 프로테인(vegetable protein)', '비건 프로테인(vegan protein)' 등으로 불리며 건강 문제, 환경 문제를 야기하는 동물성 단백질보다 식물성 단백질을 선호하는 경향이 생겨나고 있다.

식물성 단백질을 기반으로 한 식품으로는 콩류를 가공하거나 발효한 식품, 곡류를 첨가한 식품, 콩류와 곡류 등을 이용한 대체육, 대체 유제품 등이 있다.

식물성 단백질 식품의 주요 공급원인 식물성 단백질 자원으로는 콩과 식물, 고대 원시곡물, 곡류, 식물의 씨앗 등이 있다. 단백질이 가장 풍부하고 이용 가치가 높은 식물성 단백질 자원은 콩과 식물이며 그 대표적인 것으로 대두, 강낭콩, 완두, 렌틸콩, 병아리콩 등이 있다. 콩과 식물 이외에 식물성 단백질이 풍부한 곡물류로는 고대 원시곡물(아마란스, 퀴노아)과 보리, 귀리, 밀 등이 있다. 그밖에 단백질 함량이 풍부한 식물의 씨앗인 치아시드, 헴프시드 등도 식물성 단백질 자원으로 각광을 받고 있다.

(2) 식물성 단백질 자원의 특징

1) 콩과 식물

일반적으로 콩이라고 하면 대두를 지칭하는 말로 사용된다. 전 세계에 널리 분포되어 있으며 콩과 식물 중 가장 많은 생산량을 차지하기 때문이다. 대두는 한해살이 콩과 식물로 동물성 단백질 식품과 비교했을 때 우열을 가릴 수 없을 만큼 단백질 급원 식품으로서의 질적 가치가 높다. 중국과 한반도 일대를 기원으로 보고 있으며 재배 시기는 기원전 2500년경으로 추정된다. 대두는 야생의 돌콩에서 재배 작물로 발달했으며 1690년경에 독일에 처음으로 전파되었고, 미국에는 1804년경에 처음으로 알려졌다. 1900년경부터 널리 재배되기 시작했다. 대두 단백질은 종실 성분의 약 40%를 차지하고 있으며, 100g 당 대두의 단백질 함량은 대략 34g이다.

강낭콩은 한해살이 콩과 식물로 원산지는 멕시코 중앙부에서 과테말라, 온두라스 일대이며

1) 필수 아미노산은 우리 몸에서 만들 수 없거나 만들 수 있더라도 양이 너무 적어 반드시 음식으로 먹어야만 하는 아미노산을 말한다. 비필수 아미노산은 우리 몸이 스스로 만들어 낼 수 있는 아미노산이기 때문에 꼭 음식으로 먹지 않아도 된다.

기원전 5세기부터 재배되었다. 대체로 온난한 기후에서 잘 자라며 추위에 약하다. 단백질뿐만 아니라 다양한 무기질과 비타민과 같은 영양분을 고루 함유하고 있다. 100g 당 강낭콩의 단백질 함량은 대략 22g이다.

완두는 한해살이 또는 두해살이 콩과 식물로 원산지는 지중해 연안이며 고대부터 재배되었다. 콩류 중에 식이섬유소가 가장 풍부하며 섬유질, 티아민, 엽산, 망간, 비타민, 아연, 구리, 철, 마그네슘 등도 들어있다. 완두에는 9가지 아미노산이 모두 포함되어 있지만 메티오닌과 시스테인이 너무 낮아 완전한 단백질로 간주되진 못한다. 100g 당 완두의 단백질 함량은 대략 21g이다.

렌틸콩은 유럽 남부, 지중해 연안이 원산지인 한해살이 콩과 식물로 양면이 볼록한 렌즈모양과 같다고 해서 렌즈콩으로도 불린다. 단백질, 비타민 B, 철, 인의 중요한 공급원이 된다. 유럽, 아시아, 북아프리카 등지에서 널리 재배되고 있다. 섬유질도 풍부하고, 아연도 많으며, 엽산도 함유하고 있다. 기원은 알 수 없으나 수확과 보관이 쉬워 고대 문명의 주식으로 활용되었다. 100g 당 렌틸콩의 단백질 함량은 대략 24g이다.

병아리콩은 한해살이 콩과 식물로 이집트콩이라고도 하며 씨의 전체적인 외관이 병아리의 머리 모양과 비슷하다고 해서 병아리콩으로 불린다. 기원전 7500년부터 아시아 중동 지역에서 재배되기 시작했으며 건조한 기후에서도 잘 자라는 특성을 지니고 있다. 병아리콩은 고영양 식품으로 단백질과 섬유질이 풍부하다. 그 외에 여러 비타민, 미네랄 등도 함유하고 있다. 100g 당 병아리콩의 단백질 함량은 대략 17g이다.

2) 고대 원시곡물

영원히 시들지 않는 꽃이란 뜻을 가진 아마란스는 중심자목 비름과에 속하는 한해살이풀로 남아메리카 안데스 산맥의 고산 지대를 원산지로 두었으며 약 5000년 전부터 재배되었다. 마야 시대부터 시리얼 등으로 사용했으며 고대 잉카제국부터는 감자, 옥수수과 함께 식용작물로 활용되었다. 1500년경 스페인의 침략에 의해 잉카제국이 멸망한 이후 아마란스의 재배가 감소했으나, 1700년대에 유럽으로 전해지면서 아프리카, 중국, 인도, 북미 등지로 퍼져나갔다. 건조하고 척박한 토양에서도 재배가 용이하고 병충해가 적어 농약을 치지 않아도 되는 친환경 작물이다. 아마란스는 열대와 아열대와 같이 따듯한 기후에 산성 토양을 가진 곳에서 잘 자라며 페루, 볼리비아 등의 남아메리카가 주산지이다. 아마란스는 전체 성분 중 평균 15~17%가 식물성 단백질로 구성되어 있으며 칼슘, 칼륨, 인, 철분 등의 무기질을 비롯해 섬유질, 인지질 등 다양한 영양성분이 풍부하다. 또한 다른 곡물에 비해 탄수화물과 나트륨 함량이 적고 폴리페놀, 토코트리에놀과 같은 항산화 성분도 함유되어 있다.

모든 곡식의 어머니라는 뜻의 고대 잉카어에서 유래된 퀴노아는 5000년 전 남아메리카 안데스 산맥의 고산 지대에서 재배되었다. 퀴노아는 지난 수천 년 동안 에콰도르, 페루, 볼리비아 등 안데스 지역의 주요 농산물이었으나, 1500년경 스페인의 침략으로 잉카 제국이 멸망하면서 생산량도 대폭 줄었다. 그 후 영양학적 가치를 새로 평가받아 품종 개량과 보급에 힘쓴 덕분에 1980년 이후 생산량이 급증했으며 미국과 유럽을 넘어 아시아 지역까지 널리 분포되었다. 퀴노아의 주산지는 남아메리카의 페루와 볼리비아가 대표적이다. 해발 2,500m~4,000m의 고산지대에서 주로 자라는데 건조한 토양에서도 재배가 용이하다. 퀴노아의 성분은 평균 16~20% 정도가 단백질로 구성되어 있을 만큼 고단백 식품이다. 리신, 메티오닌, 아르기닌, 히스티딘 등 9가지 종류의 필수 아미노산이 균형적으로 구성되어 있다. 이밖에도

칼슘, 칼륨, 인, 철분, 마그네슘, 망간, 아연, 셀레늄 등의 각종 무기질과 미네랄을 비롯해 비타민, 섬유질, 녹말 등 풍부한 영양성분을 가지고 있다. 미국 항공우주국(NASA)은 우주 식량의 대체 식품으로 퀴노아의 개발을 검토하고 있다.

3) 곡류

보리는 화분과에 속하는 1년생 또는 2년생 초본식물로 대맥이라고도 한다. 보리는 인류가 재배한 가장 오래된 작물의 하나로 알려져 있으며 지금으로부터 7000~1만 년 전부터 재배가 시작된 것으로 추측된다. 전 세계에 널리 분포되어 있는데 씨알의 배열에 따라 여섯줄보리와 두줄보리가 있다. 원산지에 대해서는 여러 가지 학설이 있다. 야생종이 발견된 지역을 토대로 여섯줄보리는 중국 양쯔강 상류의 티베트 지방, 두줄보리는 카스피해 남쪽의 터키 및 인접 지역을 원산지로 보는 설이 가장 유력하다. 보리의 주요 성분은 탄수화물 75%, 단백질 10%, 지방 0.5% 정도이며, 그 외 섬유질, 회분, 비타민, 무기질 등도 포함되어 있다. 특히 보리는 다른 곡물에 비해 섬유질을 많이 함유하고 있는 특징이 있다.

귀리는 중앙아시아와 아르메니아 지방을 원산지로 둔 벼목 화분과의 두해살이풀로 연맥으로도 불린다. 유럽에는 기원전 2000~1300년경에 전파되었고, 중국에서는 600~900년경부터 재배되었다. 현재 러시아, 캐나다, 폴란드, 핀란드, 호주, 미국, 스페인, 영국 등 다양한 나라에서 재배되고 있으며 최대 주산지는 러시아이다. 귀리 열매를 거칠게 갈거나 압착시킨 것을 오토밀이라고 하며 가축의 사료로도 쓰인다. 귀리는 쌀보다 2배 많은 단백질을 함유하고 있으며, 지방질과 섬유소는 현미보다도 많다. 다당류의 일종인 베타글루칸(β -glucan) 성분이 다량 함유되어 있다. 100g 당 귀리의 단백질 함량은 대략 14g이다.

밀은 외떡잎식물 벼목 화분과의 한해살이풀로 소맥이라고도 한다. 기원전 1만~1만 5000년경에 재배되기 시작한 가장 오래된 작물 중의 하나이다. 아프가니스탄이나 캅카스가 원산지이고 주로 온대 지방에서 재배된다. 밀은 전 세계적으로 재배되는 작물로 세계 곡물 생산량에서 옥수수에 이어 2위를 차지하고 있다. 밀의 품질은 강수량과 밀접한 관계가 있는데, 강수량이 적은 대륙성 기후에서는 경질밀이 생산되며, 강수량이 많은 해양성 기후에서는 연질밀이 생산된다. 파종 시기에 따라 겨울밀과 봄밀로 나뉘는 등 밀의 분류 방법은 다양하다. 밀은 90% 이상이 제분되어 제면, 제빵, 제과, 공업용 등으로 쓰이며 밀 낱알은 맥주의 원료가 되기도 한다. 밀의 성질에 따라 단백질 함량의 차이가 크다. 경질밀의 단백질 함량은 11~15%인 반면, 연질밀의 단백질 함량은 8~10%이다.

4) 식물의 씨앗

햄프시드는 대마의 씨앗으로 중앙아시아가 원산지이며, 주요 생산국은 중국을 비롯한 러시아, 칠레이다. 대마의 잎과 꽃에서 얻어지는 대마초에 비해 마취 성분인 테트라히드로칸나비놀(THC) 함량이 2% 미만으로 낮은 편이며, 최근 산업용으로 개발된 대마 중에서는 THC 함량이 0.5% 미만의 낮은 종도 존재한다. 그러나 햄프시드에도 소량의 THC가 함유되어 있으므로 걸쭉질을 제거한 알맹이 상태로 유통된다. 씨앗의 30%가 기름이기 때문에 오일로도 활용이 가능하며 씨앗 자체로 활용하거나 가루로 분쇄하여 식용 또는 두유와 같은 음료로 만들어 먹는다. 단백질과 섬유질이 풍부하며 칼로리는 낮다. 100g 당 햄프시드의 단백질 함량은 대략 33g이다.

치아시드는 쌍떡잎식물인 치아의 씨앗으로 멕시코 중남부 지방과 과테말라가 원산지이다. 메소아메리카 시대 아스텍인들이 재배했다는 기록이 있으며 라틴아메리카 국가들에서 중요한 식재료로 사용되어 왔다. 치아시드는 전통적으로 멕시코와 과테말라에서 생산되었으나, 상업적인 중요성이 높아져 지금은 라틴아메리카 국가뿐만 아니라 다른 나라들에서도 활발하게 생산이 이루어지고 있다. 오메가-3 지방산이 많고 철분, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 식이섬유 등의 영양소가 들어 있다. 100g 당 치아시드의 단백질 함량은 대략 16g으로 주요 단백질 공급원이 되고 있다. 치아시드를 물에 담가두면 부피가 최대 12배 정도 불어나고 점착성을 띤다. 따라서 적은 양으로도 포만감을 느낄 수 있으며 동시에 영양도 보충하는 등 다이어트 식품으로 각광 받고 있다.

표 1. 식물성 단백질 자원의 종류

콩과 식물	고대 원시곡물	곡물류	식물의 씨앗
<ul style="list-style-type: none"> • 대두 • 강낭콩 • 완두 • 렌틸콩 • 병아리콩 	<ul style="list-style-type: none"> • 아마란스 • 퀴노아 	<ul style="list-style-type: none"> • 보리 • 귀리 • 밀 	<ul style="list-style-type: none"> • 햄프시드 • 치아시드

2. 식물성 단백질 자원의 수급

(1) 콩과 식물

1) 대두(Soybean)

미국 농무부(USDA)가 제시하는 수급 자료를 중심으로 살펴보았을 때, 2020/21 시즌 세계 곡물 및 유지작물 생산량은 33억 1,038만 톤이며 그 중 곡물은 27억 924만 톤, 유지작물은 6

(단위: 백만 톤)

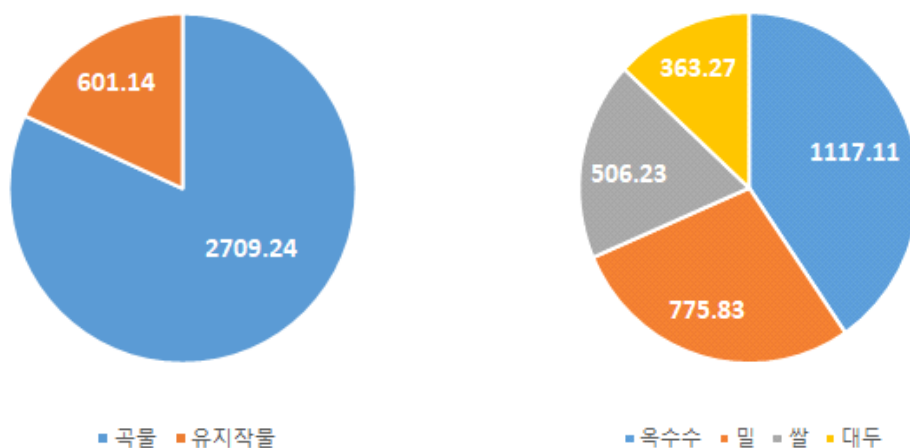


그림 1. 품목별 세계 곡물 및 유지작물 생산량

자료: USDA, WASDE

억 114만 톤이다. 곡물 중에는 옥수수 생산량이 11억 1,711만 톤으로 가장 많으며 그 다음으로 밀 7억 7,583만 톤, 쌀 5억 623만 톤이다. 유지작물 중 대두 생산량은 3억 6,327만 톤으로 유지작물 생산량의 60%를 차지한다.

식물성 단백질 자원의 대표적인 품목인 대두는 위에서 살펴본 바와 같이 세계에서 옥수수, 소맥, 쌀 다음으로 생산량이 많다. 2020/21 기준 세계 대두의 수급 관계를 살펴보면 생산량은 3억 6,327만 톤으로 기초 재고량을 합친 공급량은 4억 5,918만 톤에 이른다. 소비량은 3억 6,506만 톤이며 그 중 착유용이 3억 1,798만 톤으로 87%의 비중을 차지한다. 식용은 2,088만 톤으로 비중은 6%이며 착유용에 비하면 미미한 수준이다. 사료 및 기타 용도로도 2,620만 톤이 소비된다. 교역량은 1억 6,574만 톤으로 생산량의 45%를 차지한다.

역사적인 흐름을 살펴보았을 때, 세계 대두 생산량은 1970년 대 중반 5,000만 톤 전후에서 1984년 9,000만 톤을 넘어섰다. 2000년 이후 획기적으로 늘어 2004년 2억 톤, 2014년 3억 톤을 넘어섰다. 2021/22년에는 3억 8,442만 톤까지 늘어날 것으로 전망된다. 세계 대두 소비량도 1970년 대 중반 5,000만 톤 전후에서 1980년 대 초반에 9,000만 톤을 넘어섰다. 2000

(단위: 백만 톤)

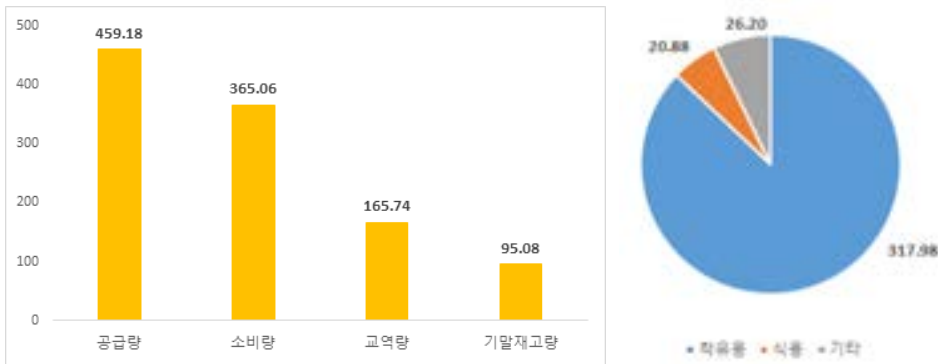


그림 2. 세계 대두 수급 및 용도별 소비량

자료: USDA, FAS, PS&D

(단위: 백만 톤)



그림 3. 세계 대두 생산량 및 소비량

자료: USDA, FAS, PS&D

년 이후 획기적으로 늘어 2004년 2억 톤, 2014년 3억 톤을 넘어섰다. 2021/22년에는 3억 7,837만 톤까지 늘어날 것으로 전망된다.

세계 대두 교역량은 1970년 대 초반까지는 1,000만 톤 내외로 생산량 대비 수출 비중은 29%였으나 1990년 대 후반까지 5,000만 톤 아래에 머물렀으며 수출 비중도 29%로 크게 늘지 않았다. 2000년 이후로 대두 수출량이 크게 늘어나 2012년에는 1억 톤을 넘어섰으며 수출 비중도 37%로 늘어났다. 2021/22년에는 수출량이 1억 7,317만 톤까지 늘어나겠으며, 수출 비중은 45%까지 증가할 것으로 전망된다.

(단위: 백만 톤, %)



그림 4. 세계 대두 교역량 및 생산량 대비 비중

자료: USDA, FAS, PS&D

국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 대두 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면 생산량의 경우 미국과 브라질, 아르헨티나의 생산 비중이 압도적으로 높았다. 브라질의 대두 생산량이 1억 1,427만 톤으로 세계에서 가장 많았으며 그 다음으로 미국 9,679만 톤, 아르헨티나 5,526만 톤으로 이들 3개 국가가 전체 생산량의 80%를 차지했다. 수출량 역시 브라질이 7,407만 톤으로 세계에서 가장 많았으며 그 다음으로 미국 5,239만 톤, 아르헨티나 1,005만 톤을 차지했다.²⁾

수입량은 단연코 중국이 압도적으로 많았다. 8,859만 톤으로 세계 총수입량의 59%를 차지했다. 중국의 대두 생산량은 극히 적어 대부분을 수입에 의존한다. 중국의 대두 생산량은 2004/05년에 1,740만 톤까지 오른 이후 점진적으로 하락해 2015/16년에는 1,237만 톤까지 떨어졌다. 최근 들어 생산량을 늘려 2021/22년에는 1,900만 톤에 이를 전망이다. 반면 소비량은 1995년부터 생산량을 초과하기 시작했으며 2000/01년 2,670만 톤에 달했다. 2010/11년에는 6,000만 톤을 넘어섰으며, 2021/22년에는 1억 100만 톤에 이를 전망이다. 수요 대비 공급이 턱없이 모자라 대부분의 대두를 해외에서 수입하는 실정이며, 소비량이 증가하는 만큼 수입량도 그만큼 늘어나는 추세를 보이고 있다. 중국은 경제 발전에 따른 식생활 패턴의 변화

2) 브라질이 농업 대국으로 성장한 것은 브라질 중서부의 세라도(Cerrado)라고 불리는 열대 사바나 지역에 대한 20여 년간의 농업개발투자가 성공을 거둔 덕분이며 대두 산업이 획기적으로 발전하게 된 계기가 됐다. 1990년 대 중반 2,500만 톤 내외였던 브라질의 대두 생산량이 2010년에는 7,000만 톤을 넘어섰으며 2017년에는 1억 2,340만 톤으로 미국을 제치고 세계 최대 생산국이 되었다.

와 식품(유지) 가공, 축산 및 사료 산업의 발달로 인해 막대한 양의 대두를 수입해 오고 있으며 계속해서 수입량이 늘어날 것으로 예상된다.

표 2. 국가별 대두 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	브라질	114,269	브라질	74,073	중국	88,586
2	미국	96,793	미국	52,388	멕시코	4,851
3	아르헨티나	55,264	아르헨티나	10,054	아르헨티나	4,548
4	중국	15,724	파라과이	4,901	이집트	4,257
5	인도	13,268	캐나다	4,013	네덜란드	4,113

자료: FAOSTAT

2) 강낭콩(Bean)

강낭콩은 'Dry Beans'와 'Green Beans'로 나뉜다. 국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 강낭콩(Dry Beans)의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면 세계 생산량은 1961년 1,123만 톤에서 1981년 1,500만 톤, 2006년에는 2,000만 톤을 넘어섰다. 2017년에는 3,148만 톤까지 증가했으며 2019년에는 2,890만 톤에 머물렀다. 국가별 생산량을 살펴보면 미얀마가 585만 톤으로 가장 많은 생산량을 기록했다. 그 뒤를 이어 인도 531만 톤, 브라질 291만 톤, 중국 130만 톤, 탄자니아 120만 톤을 차지했다. 교역량과 관련해서 수출량은 미얀마가 110만 톤으로 압도적으로 많았다. 그 뒤를 이어 아르헨티나 46만 톤, 미국 45만 톤, 중국 35만 톤, 캐나다 34만 톤의 수출 실적을 나타냈다. 수입량은 인도가 52만 톤으로 가장 많았으며 그밖에 브라질, 터키, 미국, 중국 등이 15만 톤 내외로 수입했다.

표 3. 국가별 강낭콩(Dry Beans) 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	미얀마	5,847	미얀마	1,097	인도	521
2	인도	5,310	아르헨티나	457	브라질	151
3	브라질	2,907	미국	452	터키	145
4	중국	1,298	중국	351	미국	140
5	탄자니아	1,197	캐나다	343	중국	135

자료: FAOSTAT

국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 강낭콩(Green Beans)의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 세계 생산량은 1961년 263만 톤에서 1980년 대 후반 500만 톤을 넘어섰다. 1990년 이후 생산량이 급격히 늘어나 2001년에는 1,000만 톤, 2011년에는 2,000만 톤을 넘어섰다. 2019년에는 2,698만 톤을 기록했다. 국가별 생산량을 살펴보면 중국이 2,175만 톤으로 압도적이었다. 그 밖에 인도네시아 95만 톤, 인도 73만 톤, 터키 60만 톤, 프랑스 34만 톤을 차지했다. 생산량 대비 교역량은 미미한 편이다. 수출량은 모로코 14만 톤,

프랑스 11만 톤, 멕시코 5만 톤, 과테말라 3만 톤, 네덜란드 3만 톤이었다. 수입량은 스페인 12만 톤, 미국 10만 톤, 벨기에 9만 톤, 네덜란드 6만 톤, 프랑스 5만 톤을 나타냈다.

표 4. 국가별 강낭콩(Green Beans) 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	중국	21,748	모로코	136	스페인	119
2	인도네시아	948	프랑스	108	미국	95
3	인도	725	멕시코	54	벨기에	88
4	터키	596	과테말라	31	네덜란드	63
5	프랑스	338	네덜란드	30	프랑스	49

자료: FAOSTAT

3) 완두(Pea)

완두 역시 'Dry Peas'와 'Green Peas'로 나뉜다. 국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 완두(Dry Peas)의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 세계 생산량은 1961년 735만 톤에서 1988년 1,520만 톤까지 올랐으나 2002년에는 962만 톤까지 떨어졌다. 2016년부터 급격히 증가하기 시작했으며 2017년에는 1,621만 톤까지 증가했다. 2019년에는 1,418만 톤의 생산 실적을 기록했다. 국가별 생산량을 살펴보면 캐나다가 424만 톤으로 가장 많았으며 러시아 237만 톤, 중국 146만 톤, 미국 101만 톤, 인도 61만 톤을 차지했다. 교역량과 관련해서 수출량은 캐나다가 364만 톤으로 압도적으로 많았다. 그 뒤를 이어 러시아 60만 톤, 우크라이나 38만 톤, 미국 29만 톤, 프랑스 25만 톤의 수출 실적을 나타냈다. 수입량은 중국이 200만 톤으로 압도적으로 많았다. 그 뒤를 이어 인도 92만 톤, 방글라데시 74만 톤, 미국 24만 톤, 벨기에 21만 톤을 수입했다.

표 5. 국가별 완두(Dry Peas) 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	캐나다	4,237	캐나다	3,636	중국	2,003
2	러시아	2,369	러시아	595	인도	915
3	중국	1,459	우크라이나	383	방글라데시	739
4	미국	1,014	미국	290	미국	236
5	인도	612	프랑스	249	벨기에	210

자료: FAOSTAT

국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 완두(Green Peas)의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 세계 생산량은 1961년 379만 톤에서 1990년 대 말 1,000만 톤 가까이 꾸준히 증가했다. 2000년 이후 생산량이 급증했으며 2019년에는 2,177만 톤을 기록했다. 국가별 생산량을 살펴보면 중국 1,340만 톤, 인도 556만 톤으로 이들 두 국가에 치중되어 있다. 그 뒤를 이어 프랑스 28만 톤, 미국 23만 톤, 알제리 20만 톤을 차지했다. 교역량과 관련해서 수출량은 프랑스 7만 톤, 과테말라 3만 톤이었으며 멕시코, 중국, 독일도 2만 톤의 수출 실적을 나타냈다. 수입량은 벨기에 11만 톤, 미국 4만 톤, 네덜란드 3만 톤, 영국 2만 톤, 캐나다 1만 톤이었다.

표 6. 국가별 완두(Green Peas) 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	중국	13,395	프랑스	69	벨기에	107
2	인도	5,562	과테말라	34	미국	38
3	프랑스	282	멕시코	19	네덜란드	25
4	미국	228	중국	18	영국	17
5	알제리	200	독일	17	캐나다	12

자료: FAOSTAT

4) 렌틸콩(Lentils)

국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 렌틸콩의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 세계 생산량은 1961년 85만 톤에서 1990년 대 말까지 300만 톤 가까이 점진적으로 증가했다. 2010년 이후 생산량이 급증했으며 2013년에는 500만 톤을 넘어섰다. 2016년에는 708만 톤까지 올랐으나 최근에는 생산량이 줄어 2019년에는 573만 톤에 그쳤다. 국가별 생산량을 살펴보면 캐나다 217만 톤, 인도 123만 톤으로 주축을 이루고 있다. 그 뒤를 이어 호주 53만 톤, 터키 35만 톤, 네팔 25만 톤의 생산 실적을 나타냈다. 교역량과 관련해서 수출량은 캐나다가 212만 톤으로 압도적으로 많았다. 그 뒤를 이어 호주 50만 톤, 터키 31만 톤, 미국 26만 톤, 아랍에미리트 21만 톤의 수출 실적을 나타냈다. 수입량과 관련해서 인도가 82만 톤으로 가장 많았으며 그 다음으로 방글라데시 47만 톤, 터키 40만 톤, 아랍에미리트 27만 톤, 스리랑카 17만 톤을 차지했다.

표 7. 국가별 렌틸콩 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	캐나다	2,167	캐나다	2,117	인도	822
2	인도	1,228	호주	499	방글라데시	472
3	호주	534	터키	309	터키	401
4	터키	354	미국	262	아랍에미리트	268
5	네팔	251	아랍에미리트	210	스리랑카	168

자료: FAOSTAT

5) 병아리콩(Chick Pea)

국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 병아리콩의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 세계 생산량은 1961년 768만 톤에서 2000년 대 초반까지 큰 변동을 보이지 않았으나 2009년 1,000만 톤을 넘어서면서 급격히 증가하기 시작했다. 2018년에는 1,614만 톤까지 올랐으나 2019년에는 1,425만 톤에 그쳤다. 국가별 생산량과 관련해서 인도가 994만 톤으로 압도적으로 많았으며 그 다음으로 터키 63만 톤, 러시아 51만 톤, 미얀마 50만 톤, 파키스탄 45만 톤의 생산 실적을 나타냈다. 교역량과 관련해서 수출량은 러시아가 47만 톤으로 가장 많았으며 그 다음으로 호주 41만 톤, 터키 21만 톤, 미국 16만 톤, 멕시코 13만 톤의 수출 실적을 나타냈다. 수입량의 경우 이집트가 567만 톤으로 압도적으로 많았으며 파키스탄 41만 톤, 인도 37만 톤, 방글라데시 24만 톤, 터키 12만 톤을 차지했다.

표 8. 국가별 병아리콩 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	인도	9,938	러시아	470	이집트	5,673
2	터키	630	호주	406	파키스탄	410
3	러시아	506	터키	213	인도	372
4	미얀마	499	미국	155	방글라데시	241
5	파키스탄	447	멕시코	133	터키	115

자료: FAOSTAT

(2) 고대 곡물

국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 퀴노아(Quinoa)의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 세계 생산량은 1961년 32천 톤에서 1997년 5만 톤까지 늘어났으며 이후에도 점진적으로 증가하는 추세를 보였다. 2009년 7만 톤을 넘어서면서 생산량이 급증했다. 2015년에는 19만 톤까지 증가했으나 2019년에는 16만 톤에 그쳤다. 퀴노아는 대부분 페루, 볼리비아, 에콰도르 등 중남미 국가에서 생산되며 국가별 생산량은 페루 9만 톤, 볼리비아 7만 톤, 에콰도르 5천 톤이었다. 교역량과 관련해서 수출량은 페루 5만 톤, 볼리비아 3만 톤이었으며 그밖에 스페인, 네덜란드, 캐나다 등이 4~5천 톤 정도를 수출했다. 수입량과

표 9. 국가별 퀴노아 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	페루	90	페루	49	미국	32
2	볼리비아	67	볼리비아	33	프랑스	9
3	에콰도르	5	스페인	5	캐나다	9
4			네덜란드	5	독일	7
5			캐나다	4	네덜란드	5

자료: FAOSTAT

관련해서 미국이 3만 톤으로 가장 많았으며 그 다음으로 프랑스, 캐나다, 독일, 네덜란드 등이 5~9천 톤 정도 수입을 했다.

(3) 곡물

1) 보리(Barley)

국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 보리의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 세계 생산량은 1961년 7,241만 톤에서 1990년 1억 7,800만 톤까지 증가한 이후 계속해서 줄어 1999년에는 1억 2,808만 톤까지 떨어졌다. 이후 점진적으로 증가하는 추세를 보였으며 2019년에는 1억 5,898만 톤을 기록했다. 국가별 생산량을 살펴보면 러시아가 2,049만 톤으로 가장 많았으며 그 다음으로 프랑스 1,357만 톤, 독일 1,159만 톤, 캐나다 1,038만 톤, 우크라이나 892만 톤을 차지했다. 교역량과 관련해서 수출량은 프랑스 717만 톤으로 가장 많았으며 그 다음으로 러시아 394만 톤, 호주 287만 톤, 아르헨티나 252만 톤, 우크라이나 235만 톤의 수출 실적을 나타냈다. 수입량은 중국이 593만 톤으로 가장 많았으며 사우디 391만 톤, 이란 329만 톤, 네덜란드 216만 톤, 벨기에 201만 톤을 차지했다.

표 10. 국가별 보리 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	러시아	20,489	프랑스	7,172	중국	5,929
2	프랑스	13,565	러시아	3,941	사우디	3,906
3	독일	11,592	호주	2,872	이란	3,287
4	캐나다	10,383	아르헨티나	2,517	네덜란드	2,157
5	우크라이나	8,917	우크라이나	2,349	벨기에	2,011

자료: FAOSTAT

2) 귀리(Oat)

국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 귀리의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 세계 생산량은 1961년 4,959만 톤에서 1971년 5,451만 톤까지 증가했으나 이후 생산량은 급격히 떨어져 2010년에는 1,923만 톤에 이르렀다. 이후 귀리에 대한 수요가 늘어나면서 생산량은 증가하기 시작했으며 2017년에는 2,534만 톤에 이르렀다. 2019년에는 생산량이 줄어 2,310만 톤에 그쳤다. 국가별 생산량을 살펴보면 러시아 442만 톤, 캐나다 424만 톤으로 주축을 이뤘으며 그밖에 폴란드, 핀란드, 호주 등이 100만 톤 이상을 생산했다. 교역량과 관련해서 수출량은 캐나다가 178만 톤으로 압도적으로 많았으며 핀란드 37만 톤, 스웨덴 14만 톤, 러시아 12만 톤, 프랑스 11만 톤을 차지했다. 수입량은 미국이 149만 톤으로 압도적으로 많았으며 독일 46만 톤, 중국 22만 톤, 네덜란드 18만 톤, 멕시코 15만 톤을 수입했다.

표 11. 국가별 귀리 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	러시아	4,424	캐나다	1,779	미국	1,492
2	캐나다	4,237	핀란드	366	독일	457
3	폴란드	1,210	스웨덴	135	중국	220
4	핀란드	1,187	러시아	115	네덜란드	176
5	호주	1,135	프랑스	110	멕시코	152

자료: FAOSTAT

3) 밀(Wheat)

밀은 전 세계에서 재배되는 작물로 옥수수 다음으로 생산량이 많다. 국제연합식량농업기구(FAO)에서 제공하는 자료를 토대로 국가별 밀의 수급 관계(2019년 기준)를 살펴보면, 1961년 2억 2,236만 톤에서 꾸준히 증가해 1980년 대 중반에 5억 톤을 거쳐 2013년에는 7억 톤을 넘어섰다. 2017년에는 7억 7,230만 톤까지 증가했으나, 2019년에는 7억 6,577만 톤에 그쳤다. 국가별 생산량을 살펴보면 중국이 1억 3,360만 톤으로 가장 많았으며 그 뒤를 이어 인도가 1억 360만 톤을 차지했다. 그밖에 러시아 7,445만 톤, 미국 5,226만 톤, 프랑스 4,061만 톤, 캐나다 3,235만 톤, 우크라이나 2,837만 톤, 파키스탄 2,435만 톤, 독일 2,306만 톤, 아르헨티나 1,946만 톤을 생산했다. 교역량과 관련해서 수출량은 러시아 3,187만 톤, 미국 2,707만 톤, 캐나다 2,281만 톤, 프랑스 1,996만 톤, 우크라이나 1,329만 톤, 아르헨티나 1,054만 톤, 호주 959만 톤, 루마니아 610만 톤, 독일 555만 톤, 카자흐스탄 538만 톤이었다. 수입량과 관련해서 인도네시아 1,096만 톤, 이집트 1,042만 톤, 터키 1,001만 톤, 이탈리아 747만 톤,

표 12. 국가별 밀 생산량 및 교역량

(단위: 천 톤)

순위	국가	생산량	국가	수출량	국가	수입량
1	중국	133,596	러시아	31,873	인도네시아	10,962
2	인도	103,596	미국	27,069	이집트	10,424
3	러시아	74,453	캐나다	22,805	터키	10,005
4	미국	52,258	프랑스	19,957	이탈리아	7,474
5	프랑스	40,605	우크라이나	13,290	필리핀	7,154
6	캐나다	32,348	아르헨티나	10,543	알제리	6,776
7	우크라이나	28,370	호주	9,592	브라질	6,576
8	파키스탄	24,349	루마니아	6,103	일본	5,331
9	독일	23,063	독일	5,551	스페인	5,293
10	아르헨티나	19,460	카자흐스탄	5,376	네덜란드	5,266

자료: FAOSTAT

필리핀 715만 톤, 알제리 678만 톤, 브라질 658만 톤, 일본 533만 톤, 스페인 529만 톤, 네덜란드 527만 톤을 차지했다.

3. 식물성 단백질 자원의 활용

식물성 단백질이 풍부한 콩을 아시아 국가들은 직접 가공하여 섭취하는데 그 대표적인 것으로 두부, 템페, 에다마메가 있다. 서양에서는 콩을 원료로 한 스튜 요리들이 일반적이며 카슐레, 아인토프, 파바다, 페이조아다, 칠리 콘 카르네, 포크 앤 빈스, 베이컨드 빈스 등이 있다. 최근에는 동물성 단백질 식품을 대체하는 식물성 단백질 식품들이 개발되고 있다.

(1) 콩 가공 식품

1) 두부(Tofu)

두부는 콩을 물에 담갔다가 갈아 그 액을 가열하여 비지를 짜내고 응고제를 첨가하여 굳힌 식품으로 가장 대중적인 콩 제품이다. 두부의 기원은 중국 한나라의 회남왕 유안이 발명한 것이 시초라고 보는 것이 통설이며 불교 문화권에 있는 중국, 일본, 우리나라에서 오래전부터 즐겨 먹는 식품이다. 콩은 단백질이 풍부하여 흔히 '밭에서 나는 고기'라고 불리지만, 말린 콩은 딱딱하고 소화가 잘 되지 않기 때문에 두부로 가공해서 먹는다. 두부는 단백질 외에 지방도 풍부하며 소화흡수율이 매우 높다. 아시아 국가의 주요 식물성 단백질 공급원으로 다양한 조리법이 있다. 최근에는 미국과 호주 등 서구 국가들도 영양학적 가치를 고려해 건강식으로 두부를 선호하고 있으며 소비도 크게 늘어나고 있다. 특히 미국의 경우 채식을 선호하는 사람들이 늘어나 최근 10년 사이에 두부 소비량이 세 배 이상 증가했다.

2) 템페(Tempe)

콩을 발효시켜서 만든 것으로 인도네시아의 대표적인 음식이며 자바섬에서 처음 먹기 시작한 것으로 추정된다. 인도네시아에서는 발효음식을 통칭하여 템페라고 하는데 보통은 콩을 발효시켜 만든 것을 일컫는다. 외관상으로는 두부와 비슷하게 보이지만 발효음식이라는 점에서 청국장과 더 가깝다고 할 수 있다. 그러나 단단한 상태라는 점에서 끈적거리는 청국장과는 다르다. 네덜란드가 인도네시아를 식민지로 만들면서 자연스럽게 템페도 서양에 알려지게 되었으며 요즘에는 고기 대신 먹을 수 있는 고단백 식품으로 애용되고 있다. 템페는 소화가 잘될 뿐만 아니라 사포닌과 이소플라본, 필수 아미노산, 비타민, 식이섬유 등 각종 영양소가 풍부하게 포함되어 있다. 템페는 발효된 다음 블록으로 압축하기 때문에 두부보다 더 조밀하고 단백질 함량이 높다. 템페 ½ 컵 당 약 15g의 단백질을 함유하고 있다.

3) 에다마메(Edamame)

에다마메는 가지를 뜻하는 일본어 '에다'와 콩을 뜻하는 '마메'가 결합된 것으로 꼬투리 안에 있는 덜 익은 콩(풋콩)을 일컫는다. 1275년 가마쿠라 막부 시절 대사로 추앙받던 니치렌(日蓮)이 기거하던 절을 떠나면서 교구민인 지역 주민들로부터 에다마메를 받은 것에 대한 감

사의 글을 남긴 것이 가장 오래된 문헌으로 남아있다. 20세기에 접어들면서부터 서양에 전해졌으나 1970년대에 이르기까지 크게 주목을 받지 못했다. 최근 들어 에다마메도 서양에서 인기를 끌면서 여러 요리의 재료로 쓰이고 있다. 꼬투리는 삶거나 찌고 소금이나 다른 조미료로 간을 하는데 일본에서는 보통 4%의 소금물에 데친다. 에다마메는 꼬투리가 완전히 익기 전에 수확하는데, 이 단계에서 수확한 콩은 일반 콩보다 더 많은 자당을 함유하고 있다. 에다마메 ½ 컵당 8.5g의 단백질이 포함되어 있으며 섬유질, 비타민 K 및 엽산이 풍부하다.

(2) 콩 스투

1) 카술레(Cassoulet)

카술레는 프랑스 랑그독(Languedoc) 지방의 전통 요리로 이 지역의 전통 식기인 카솔(cassole)에 흰 강낭콩과 고기를 넣고 푹 끓여 만든 콩 스투이다. 중세 말기의 백년전쟁(1337-1453) 중 프랑스 남부의 중심이었던 카스텔노다리(Castelnaudary)가 영국군에 포위되었을 당시 프랑스 군인들의 기력을 보충하고 사기를 진작하기 위해 만든 요리에서 비롯되었다는 기원설이 가장 보편적으로 받아들여지고 있다. 카술레는 기본 재료인 콩의 선택에 따라 그 맛과 푹 익었을 때의 부드러움이 달라지며, 어떤 고기를 넣고 끓이느냐에 따라 그 개성과 맛이 결정된다. 카스텔노다리에서는 돼지고기의 정강이살, 뺏살, 어깨살, 꺾데기와 소시지, 햄, 거위나 오리 콩피(confit; 거위나 오리를 자체 지방에 절인 음식)를, 카르카손에서는 돼지고기와 붉은 자고새를, 툴루즈에서는 돼지고기, 양고기, 오리 콩피, 돼지 꺾데기로 만든 소시지를 넣어 만든다. 주재료인 흰 강낭콩에는 파세올라민(Phaseolamin)이라는 성분이 풍부하게 함유되어 있어 탄수화물의 흡수를 막아준다. 다른 콩과 마찬가지로 단백질과 식이섬유, 칼슘이 풍부하게 함유되어 있다.

2) 아인트opf(Eintopf)

아인트opf는 하나(1)를 뜻하는 독일어 '아인'과 냄비, 솥을 뜻하는 '토프'가 결합된 것으로 모든 재료를 하나의 냄비에 넣고 끓인 스투를 말한다. 토마토 등으로 만든 국물에 대두, 완두콩 또는 렌틸콩과 같은 콩류, 양배추, 순무, 양파, 당근, 감자 등의 야채와 소시지 등을 넣어 삶는다. 2차 대전 때 근면하고 검소한 독일인을 상징한다고 해서 나치 정부가 적극 권장한 요리이다. 나치 집권기에는 빈민 구호대책으로 일요일마다 무료 급식소에서 아인트opf를 배급하는 '아인트opf존탁(Eintopfsonntag)'이라는 행사가 열리기도 했다. 아인트opf는 전일 쓰다 남은 식재료를 모두 섞어 만드는 서민 요리로 자리를 잡았다.

3) 파바다(Fabada)

파바다는 콩의 이름인 파바(faba)에서 비롯된 것으로 콩, 소시지, 햄, 베이컨 등을 넣고 오래 끓여 만든 스페인식 콩 스투이다. 정식 명칭은 파바다 아스투리아나(fabada asturiana)이며 일반적으로 파바다로 불린다. 스페인의 북서부 아스투리아스(Asturias) 지방에서 유래한 요리로 18세기에 프랑스의 카술레(cassoulet)가 전해지면서 파바다가 탄생한 것으로 추정된다. 불린 울타리콩과 라콘(목살), 삼겹살, 모르시아(선지 소시지), 초리소(소시지), 사프란 등을 넣어 만

든다. 파바다는 쉽게 구할 수 있는 아스투리아스 지역의 누에콩과 먹고 남은 자투리 고기를 첨가하여 만든 서민 요리였으나, 현대에 들어와서 다양한 채소와 소시지, 혹은 해산물 등이 첨가되는 방식으로 발전했다. 파바다는 크게 네 종류로 구분이 가능한데, 그 중 가장 기본적인 종류인 ‘아스투리아나 트라디시오날(Asturiana tradicional)’은 누에콩과 소시지를 주재료로 만든 파바다이며, ‘파바다 아스투리아나 콘 마리스코(fabada asturiana con marisco)’는 해산물을 첨가하여 만든 파바다이다. ‘파바다 아스투리아나 콘 알메하(fabada asturiana con almejas)’는 조개를 첨가한 파바다이며, ‘파바다 아스투리아나 콘 오레하(fabada asturiana con oreja)’는 돼지의 귀를 첨가하여 만든 파바다이다.

4) 페이조아다(Feijoada)

‘페이조’는 콩, ‘아다’는 섞어서 찐다는 뜻의 포르투갈어로 강낭콩의 일종인 검은 거북콩을 각종 고기와 함께 끓인 대표적인 브라질 요리이다. 브라질에서는 단순히 ‘페이조아다’라고 부르지만 다른 포르투갈어권 지역에서는 브라질식 페이조아다라는 뜻인 ‘페이조아다 아 브라질 레이라(feijoada à brasileira)’라 부른다. 아프리카 흑인들이 브라질에서 노예생활을 할 당시 주인이 먹다 남은 것을 음식 재료로 사용하면서 유래되었다고 한다. 과거에는 돼지 코, 발, 귀 등의 부속 고기를 콩과 섞어 끓여 먹었지만 현재 일반 가정에서는 돼지고기, 갈빗살, 소시지, 베이컨 등을 사용한다. 페이조아다는 아로즈(arroz)라고 하는 브라질식 흰 쌀밥과 파로파(farofa: 카사바 가루를 버터에 볶은 것) 등을 곁들여 먹는다.

5) 칠리 콘 카르네(Chili Con Carne)

칠리 콘 카르네는 스페인어로 ‘고기를 곁들인 고추’라는 뜻이며 다진 소고기에 잘게 썬 양파를 넣고 칠리와 커민 가루로 양념하여 푹 끓인 일종의 매운 스텐으로 멕시코풍 미국 요리이다. 기원은 불분명하지만 비슷한 요리가 16세기 이전부터 있었던 것으로 추정되며, 1857년에 멕시코-미국 전쟁을 다룬 책에 처음 기록되었다. 콩 같은 식물성 재료가 들어가지 않는 텍사스식이나 고기 대신 두부를 이용한 베지테리언 칠리 등등 지역 및 가정에 따라 만드는 방법도 제각각이다. 텍사스 개척시대 대표적인 메뉴로 미국 전역에 걸쳐 매우 인기 있는 요리이다.

6) 포크 앤 빈스(Pork and Beans)

영어 낱말 그대로 돼지고기와 콩을 주재료로 사용하는 미국 요리이다. 처음 등장한 시기와 장소는 불분명하지만 19세기 중반에 미국 식단에 잘 정착된 음식이다. 1832년 요리책 ‘The American Frugal Housewife’에서 포크 앤 빈스의 세 가지 재료로 콩, 돼지고기, 후추가 소개되었다. 1880년경 통조림으로 상업화되었으며 간편 식품으로 자리를 잡았다.

7) 베이컨드 빈스(Baked Beans)

삶은 콩을 토마토 등의 재료와 함께 끓여낸 요리의 한 종류로 아메리카 원주민들이 콩, 메이플 시럽과 동물의 지방을 섞어 만들어 먹은 것이 시초이다. 재료가 되는 콩은 전통적으로 흰색의 작은 콩인 네이비빈(navy bean)이 활용된다. 지역에 따라 그 형태와 맛에 조금씩 차

이를 보이거나, 그 중에서도 네이비빈에 돼지고기, 당밀 등을 첨가하여 끓여낸 보스턴 베이컨드 빈스(Boston baked beans)가 유명하다. 1895년 미국의 가공식품 브랜드인 하인즈(Heinz)에 의해 통조림으로 대량 생산되기 시작했다. 19세기 뉴잉글랜드에서 출간된 요리책을 통해 미국의 다른 지역과 캐나다 등으로 퍼져 나갔으며, 현재는 영미권 국가들이 즐겨 먹는 통조림 요리가 됐다.

(3) 식물성 단백질 식품의 개발

식품이 인간의 건강과 환경에 미치는 영향에 대한 인식이 높아짐에 따라 동물성 단백질 대체 식품 공급원을 찾아야 할 필요성이 대두되었으며 건강상의 이점을 살리고, 친환경적이며 지속 가능한 생산이 이루어지는 식물성 단백질에 대한 연구 및 식품 개발이 가속화되었다. 식물 기반 식품 시스템에 대한 연구는 주로 작물 종자에서 공급되는 식이 단백질의 영양 및 기능적 역할에 중점을 두었으며 이 분야의 과학적인 발전은 식물성 식음료 개발과 상업화로 이어졌다.

1980년에 미국의 생화학자 토마스 콜린 캠벨(Thomas Colin Campbell)이 채식주의자들의 식단이라는 의미를 부각시키지 않기 위해 ‘식물성 식단(plant-based diet)’이라는 용어를 사용했으며 건강에 중점을 둔 저지방, 고섬유의 야채 기반 식단이라는 점을 명시했다. 일부에서는 ‘식물성 식단’이라는 문구를 풍부한 양의 식물성 식품과 제한된 양의 동물성 식품을 포함하는 것으로 정의한 바도 있으나, 야채, 곡물, 콩류 또는 식물성 재료로만 구성된 식단으로 부르는 것이 일반적이다. 국제연합식량농업기구(FAO)는 ‘지속 가능한 식단’이 식량과 영양 안보, 현재 대와 미래 세대의 건강한 삶에 기여할 것이라고 보고 있으며 자연과 인적 자원을 최적화하면서 모두가 수용할 수 있는 식단의 중요성을 강조했다.

야채, 과일, 콩류, 곡류, 견과류 등을 포함한 식물에서 추출한 성분으로 구성된 식물성 대체 육류, 우유, 계란 및 해산물이 주목을 끌고 있으며 식품가공 기술의 발전으로 동물성 단백질을 대체하는 식품으로 발전하기 시작했다. 식물성 단백질 식품으로 대체육 시장이 뜨고 있으며 최근 새로운 트렌드로 자리 잡고 있다. 과거에는 육류를 대신할 수 있는 대체식품을 콩으로 만들었다고 해서 ‘콩고기’ 또는 ‘인조고기’라고도 불렀지만, 최근에는 식품제조 기술의 발전으로 실제 육류와 비슷한 외형과 식감을 가지게 되면서 대체육으로 통용되고 있다. 대체육은 식물성 단백질, 균류 단백질, 곤충 단백질, 해조류 단백질 또는 배양육 등으로 만들어지고 있다. 특히 콩류를 기반으로 한 식물성 단백질 대체육 시장이 급성장하고 있으며 현재 전체 대체육 시장의 87% 이상을 차지하고 있다. 대체육 이외에도 식물성 대체 유제품과 식물성 대체 우유의 인기가 높아지고 있다. 특히 고연령층 소비자들의 식물성 대체 우유에 대한 선호도가 높으며 아몬드 우유 제품에 이어 귀리 우유 제품도 급성장하고 있다. 식물성 대체 해산물 역시 새로운 시장으로 등장하고 있다.

식물성 식품 시장이 새로운 블루오션으로 떠오르면서 식물성 식품 회사에 대한 투자 규모도 대폭 늘어나고 있다. 2010년 이후 꾸준히 증가하고 있는 식물성 대체 육류, 유제품 및 계란 시장에 대한 투자는 최근 몇 년 사이에 급격히 증가했다. 2010년에서 2020년 사이에 미국에 기반을 둔 식물성 대체 육류, 계란 및 유제품 회사는 27억 달러의 자금을 조달받았으며 2019년과 2020년 1분기 사이에만 총 12억 달러의 투자 자금을 유치한 바 있다.

4. 식물성 식품 시장의 동향 및 전망

(1) 식물성 식품 시장의 동향

세계 인구는 2020년 말 77억에서 2050년 91억에 이를 것으로 예상된다. 소비자들의 소득 및 지출 추세를 살펴보았을 때, 소비자의 가처분 소득이 증가함에 따라 주식(主食)에 대한 지출이 줄고 가치가 높은 식품들 즉, 육류, 유제품, 과일 및 야채 등에 대한 지출이 증가할 것으로 예상된다.

사회 경제적 변화와 인구 증가로 전 세계 동물성 단백질 수요는 증가하겠으나 증가세는 둔화 되겠으며, 소비자의 건강에 대한 인식 강화, 온실 가스 배출과 관련된 환경 문제 등으로 인해 소비자의 선호도는 식물성 단백질 수요로 옮겨가고 있다.

식물성 단백질 산업은 초기 식물성 단백질 시장을 주도했던 기업들과 스타트업에서 대규모 식품 및 육류 회사의 적극적인 참여로 이어지고 있다.

초기 주도 기업	대규모 식품가공회사	육가공회사
		
		
		
		
		
		

그림 5. 식물성 식품 시장 진출 기업들

1) 초기 시장 주도 기업

가. 비온드미트(Beyond Meat)

비온드미트는 에탄 브라운이 2009년에 로스엔젤레스에 세운 식물성 대체육 생산업체로 소고기, 돼지고기 및 가금류 부문의 식물성 대체품을 제공한다. 이 회사의 초기 첫 제품은 2012년 출시된 닭고기를 모방한 냉동 식품인 비온드치킨스트립이며 2013년 미국 전역으로 판매됐다. 2014년 최초의 식물성 소고기 제품인 비온드비프크럼블을 개발했으며 이후 식물성 돼지고기로 범위를 넓혔다. 2014년 소고기 버거를 모방한 신제품 개발에 착수했으며 2015년 2월 비온드버거를 출시했다. 2017년 12월 비온드소세지를 출시했으며 2019년에는 서브웨이를 통해 비온드미트볼도 처음으로 선을 보였다. 2020년 11월 맥도날드와 협력해 식물성 패티 및 닭고

기 대체품인 맥플랜트를 개발기로 했다. 2021년 1월 펄시콜라와 합작 회사(The PLANet Partnership)를 설립해 식물성 스낵과 음료를 개발하고 판매에 들어가는 계획을 세웠으며 2021년 2월 엠! 브랜드와 파트너십을 맺었다. 2021년 3월 현재 비욘드미트의 제품들은 전 세계 80여 개국의 약 118,000개 소매점과 식품 매장에서 찾아볼 수 있다.

나. 임파서블푸드(Impossible Foods Inc.)

임파서블푸드는 식물성 대체육을 개발하는 회사이며 대표 제품인 임파서블버거는 수년간의 연구 개발 끝에 2016년 7월 출시됐다. 버거킹과 협력해 2019년 여름부터 체인점을 통해 임파서블와퍼를 전국적으로 판매하기 시작했다. 임파서블푸드는 식물성 소시지 대체품을 만들어 2019년 5월 리틀시저스 레스토랑의 피자 재료로 시판했다. 2019년 1월 7일 임파서블버거 2.0을 출시해 기존 제품보다 나트륨 함량을 줄였으며 밀을 대두 단백질로 대체했다.

다. 잇 저스트(Eat Just, Inc.)

2011년 조쉬 발크와 조쉬 테트릭이 세운 잇 저스트는 미국 캘리포니아 샌프란시스코에 본사를 둔 개인 회사로 식물성 계란 대체품을 개발하고 판매한다. 잇 저스트의 첫 번째 제품인 비욘드에그는 2013년 2월 출시됐다. 2017년 7월 스크램블 에그 대체품인 녹두로 만든 저스트 에그를 판매하기 시작했으며 2020년 1월 냉동 제품을 출시했다. 2017년 말 배양육과 녹두 단백질 및 기타 재료를 활용한 치킨너겟의 개발에 들어갔다. 2020년 프로테라 투자 파트너사와 함께 아시아에 자회사를 세웠다. 잇 저스트는 2021년 3월 기준 1억 개의 계란에 해당하는 식품을 생산했다.

라. 오틀리(Oatly Group AB)

오틀리는 1993년/1994년에 설립되었으며 귀리로 유제품(우유, 아이스크림, 요구르트 등)을 대체하는 식품을 만드는 회사이다. 오틀리의 주요 시장은 스웨덴, 독일, 영국이며 2020년 12월 31일 현재 전 세계 60,000개 소매점과 32,200개 커피숍에 제품을 공급하고 있다.

마. 게덜드푸드(Gathered Foods)

게덜드푸드는 식물성 단백질로 해산물 대체품을 주로 생산하고 있다. 주요 원료로 완두콩, 병아리콩, 렌즈콩, 네이비빈 등의 재료와 해조류 추출물 등을 사용하여 감칠맛과 자연의 맛을 살리고 있다.

바. 그린먼데이(Green Monday Group)

그린먼데이는 식물성 식품을 생산, 유통, 판매하는 사회적 기업으로 그린컴언과 옴니푸드를 자회사로 두고 있다. 그린컴언은 전 세계 10개 이상의 지역에 걸쳐 판매 네트워크를 갖춘 식물성 식품 소매, 유통 및 외식 사업체이다. 옴니푸드는 캐나다에 기반을 둔 식품 개발 및 생산회사로 옴니포크, 옴니포크런천, 옴니포크스트립 등을 생산하고 있다.

2) 대규모 식품 및 육류 회사의 적극적인 참여

세계 최대 식품 기업인 네슬레(Nestlé S.A.)는 2019년에 대두를 이용한 식물성 제품인 인크레더블버거와 어썸버거로 식물성 식품 사업에 진출했다. 가든 고메와 스위트 어스 브랜드로 시장을 공략하고 있으며 2020년에는 대두로 만든 소시지와 참치 제품(Vuna)을 출시했다.

다국적 식품 및 생활용품 기업인 유니레버(Unilever)는 2018년 말 네덜란드 대체육 회사인 베지테리어부처를 인수하면서 대체육 사업에 본격적으로 뛰어 들었다. 2019년 버거킹과 파트너십을 맺어 식물성 패티를 공급하기 시작했다. 최근에는 푸드테크 기업인 이너프와의 파트너십 체결을 통해 새로운 식물성 단백질 제품을 선보이고자 한다.

다국적 식음료 기업인 다농(Groupe Danone SA.)은 2017년에 미국의 유기농 식음료기업 화이트웨이브푸드를 인수하면서 식물성 식음료 시장을 공략하기 시작했다. 특히 식물성 대체유제품 및 우유 시장을 중심으로 사업 영역을 넓히고 있으며 2022년 초에는 신제품을 선보일 예정이다.

다국적 식품기업인 켈로그(Kellogg's)는 일찌감치 모닝스타팜스라는 브랜드 명으로 대체육 시장에 진출했으며 최근에는 인코그미토라는 제품 시리즈를 출시해 대체육 경쟁 시장에 본격적으로 뛰어 들었다.

미국의 최대 육가공업체 타이슨푸드(Tyson Foods, Inc.)는 대체육 시장을 주목하면서 2016년에 비온드미트의 지분 5%를 인수했으며 2017년에는 투자 규모를 늘렸다. 2018년 초에는 벤처 캐피털인 타이슨벤처스를 통해 캘리포니아에 기반을 둔 배양육 업체 멤피스미트에 투자했다. 2019년에는 비온드미트의 지분을 매각했으며 자체적으로 육류 대체품을 개발할 계획임을 밝혔다.

세계 최대 돼지고기 가공업체인 스미스필드푸드(Smithfield Foods, Inc.)는 2019년에 대체육 브랜드 퓨어팜랜드를 통해 대두로 만든 식물성 패티, 미트볼 등의 판매에 들어갔다.

호멜푸드(Hormel Foods Corporation)는 2019년에 대두 단백을 주재료로 한 대체육 브랜드 해피리틀플랜트를 출시했다. 최근에는 더베리미트와 파트너십을 체결해 대체육 사업에 박차를 가하고 있다.

3) 미국 주도의 식물성 식품 시장 성장

세계 식물성 식품 시장을 주도하고 있는 미국은 2020년 한 해에만 폭발적인 성장을 이뤘다. 식물성 식품 매출액이 70억 달러로 27% 상승했으며, 대체육 산업은 14억 달러로 45%, 대체 우유 산업은 25억 달러로 20%의 성장세를 나타냈다. 식물성 식품에 대한 소비자의 선호도는 코로나19 발생 이전부터 높아졌으나 코로나19 대유행으로 건강에 대한 관심이 고조되면서 식물성 단백질 식품으로의 전환 속도는 상당히 빨라졌다.³⁾ 그 결과 소비 계층이 전체적으로 확대되었으며, 식품 회사들도 제조기술의 개발로 다양한 제품을 내어놓음과 동시에 공격적인 마케팅 전략을 펼치고 있다.

미국 내 식물성 식품 시장에서 가장 큰 규모를 가지고 있는 식물성 대체 우유의 매출액은 25억 달러로 전체 식물성 식품 시장의 35%를 차지했다. 매출 성장률은 2019년 5%에서 2020년에는 20%로 뛰어올랐다. 일반 우유보다 두 배 빠르게 성장했으며 전체 우유 시장의 15%를

3) 코로나19 팬데믹 기간 동안 미국 내에서 식물성 식품 소매 판매 증가율이 전체 식품 소매 판매 증가율을 앞질렀다는 점에서 식물성 식품 시장에 거는 기대는 크다.

차지했다. 미국 전체 가구 수의 39%인 4,900만 가구가 식물성 대체 우유를 구매하고 있다. 식물성 대체 우유 시장의 3분의 2는 아몬드 우유가 차지하고 있으며 귀리 우유도 3배 이상 증가했다.

식물성 식품 시장에서 식물성 대체 우유 다음으로 규모가 큰 시장은 식물성 단백질 대체육이며 매출액이 2019년 9억 6,200만 달러에서 2020년 14억 달러로 45% 증가했다. 식물성 단백질 대체육은 기존 육류보다 두 배 빠르게 성장했으며 전체 육류 시장의 3%를 차지했다. 미국의 전체 가구 수의 18%인 2,200만 가구가 식물성 단백질 대체육을 구매하고 있다. 냉동 식물성 단백질 대체육의 2020년 매출액은 30% 증가했으나, 냉장 식물성 단백질 대체육의 경우 두 배 이상 높은 75%의 성장률을 기록했다.

식물성 대체 유제품 시장도 인기를 끌었으며 상당한 혁신이 있었다. 식물성 대체 크림어 판매는 33% 증가했으며 전체 식물성 식품 시장의 6%를 차지했다. 식물성 대체 버터 판매도 36% 증가해 전체 식물성 식품 시장의 7%를 차지했다. 식물성 대체 요거트 판매도 20% 성장하여 3억 4,300만 달러의 매출을 기록했다. 식물성 대체 치즈 매출액도 2억 7,000만 달러로 43% 증가했다. 2020년에 폭발적으로 증가한 품목은 식물성 대체 계란이며 매출액은 2,700만 달러로 168% 성장했다.

표 13. 2020년 미국 식물성 식품 시장 매출액 및 증가율

구분	매출액(1억 달러)	전년 대비 증가율(%)
우유	25.00	20.4
육류	14.00	45.3
냉동식품	5.20	28.5
아이스크림	4.35	20.4
크리머	3.94	32.5
요거트	3.43	20.2
프로틴 파우더	2.92	9.6
버터	2.75	35.5
치즈	2.70	42.5
두부, 템페	1.75	40.8
쿠키	1.52	-1.2
포장 음료	1.37	12.0
조미료, 드레싱, 마요네즈	0.81	23.4
발효버터, 사워크림, 소스류	0.61	83.4
계란	0.27	167.8
합계	70.62	27.1

자료: Plant Based Foods Association

북미와 유럽이 식물성 식품 시장을 주도하고 있으나 아시아 태평양, 라틴 아메리카, 중동 및 아프리카와 같은 신흥 경제국들에서도 식물성 식품 수요가 증가하고 있다. 특히 아시아 태평양 지역의 식물성 식품 시장이 상당히 빠른 속도로 발전하고 있다. 자원에 부담을 주는 인구 증가는 식물성 식품 시장의 성장을 촉진시킬 것으로 기대된다. 블룸버그 인텔리전스는 아

시아 태평양 지역이 향후 식물성 식품 시장을 지배할 것으로 전망하면서 10년 내에 매출액의 규모가 648억 달러에 이를 것으로 전망했다. 그에 반해 유럽과 북미의 식물성 식품 시장의 매출액은 400억 달러에 그칠 것으로 내다봤다.

(2) 식물성 식품 시장의 성장 전망

1) 식물성 식품 시장의 성장 시나리오

글로벌 금융기업인 유비에스(UBS)는 식물성 식품 시장의 연평균 성장률을 28%로 판단해 2030년에는 식물성 식품 시장이 850억 달러의 규모에 이를 것이란 전망을 내놓은 바 있다. 국제적 시장조사기관인 메티컬러스리서치는 식물성 식품 시장의 연평균 성장률을 11.9%로 판단해 2027년에 742억 달러의 규모로 성장할 것으로 전망했다. 최근 블룸버그 산하 연구기관인 블룸버그 인텔리전스가 ‘폭발적인 성장을 위한 준비가 된 식물성 식품(Plant-Based Foods Poised for Explosive Growth)’이라는 획기적인 보고서를 발표했다. 이 보고서에 따르면 식물성 식품 시장이 향후 10년 내에 1,620억 달러에 이를 전망이다. 식물성 식품의 전 세계 소매 판매는 2020년 294억 달러로 평가되었으며 2030년까지 1,620억 달러로 451% 성장할 것으로 예상된다. 지속 가능하고 건강한 식품에 대한 선호도가 높아지면서 이러한 움직임이 가속화되고 있다. 식물성 식품 시장은 전체 시장의 7.7%를 차지하겠으며 대체 육류 및 유제품은 향후 10년 사이에 시장 점유율의 5%와 10%를 차지하게 될 것이다.

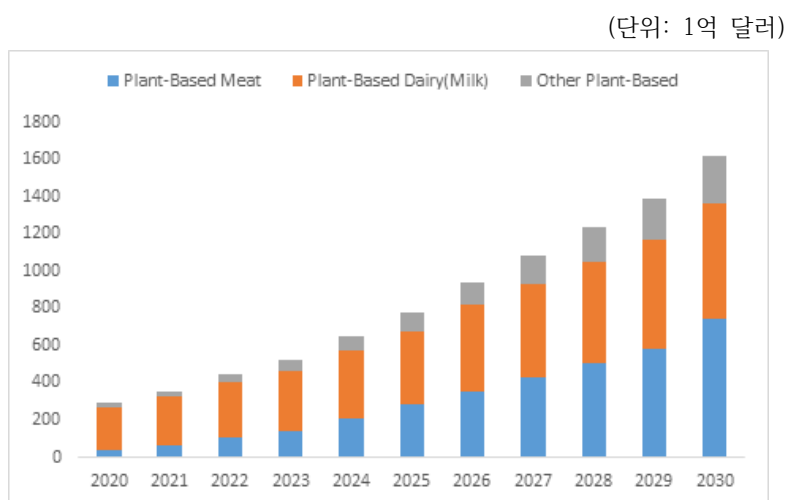


그림 6. 식물성 식품 시장의 성장 시나리오

주: 2021. 8. 17일자 Supermarket News의 “Plant-based foods are here to stay – and grow”에서 제시된 수치를 참고하여 그린 것임.

블룸버그 인텔리전스의 분석에 따르면 전 세계 식물성 대체 육류 시장은 2025년 280억 달러의 규모로 성장하고 2030년에는 740억 달러로 늘어날 것으로 예상된다. 식물성 대체 육류 시장은 2020년 전체 육류 판매액의 0.3%에 불과했지만 10년 후에는 전체 육류 판매액의 5%까지 성장할 것으로 예상된다. 예상 시나리오에서 제품의 보급 확대, 소비자의 선호도 증가, 가격의 지속적인 하락 등이 받쳐준다면 2030년 식물성 대체 육류 시장은 1,180억 달러까지 증가할 수 있을 것으로 보고 있다. 반면 규제 문제와 공급 제약으로 인해 성장 속도가 느려질

경우 식물성 대체 육류 시장의 규모는 370억 달러에 그치겠다.

(단위: 1억 달러)

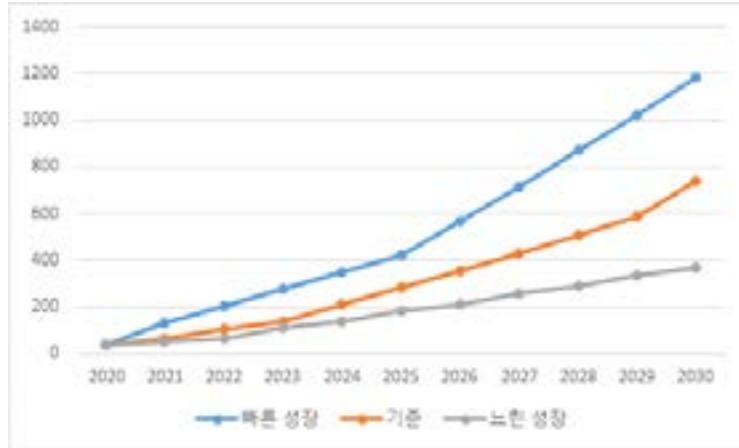


그림 7. 식물성 대체 육류 시장의 성장 시나리오

주: 2021. 8. 17일자 Supermarket News의 “Plant-based foods are here to stay – and grow”에서 제시된 수치를 참고하여 그린 것임.

식물성 대체 유제품 시장과 관련해서 블룸버그 인텔리전스는 2020년 230억 달러에서 2030년 620억 달러까지 증가할 것으로 예상하고 있다. 식물성 대체 유제품 시장은 2020년 전체 유제품 시장의 0.3%에 불과했지만 10년 후에는 10%까지 성장할 것으로 보고 있다. 식물성 대체 아이스크림, 치즈, 사워크림 및 버터와 같은 제품들이 크게 성장할 것으로 전망된다. 특히 유당불내증을 겪고 있는 소비자들의 대체 우유 및 기타 유제품의 선택으로 성장 속도는 빨라질 것으로 기대된다. 예상 시나리오에서 제품의 보급 확대, 소비자의 선호도 증가, 가격의 지속적인 하락 등이 받쳐준다면 2030년 식물성 대체 유제품 시장은 810억 달러까지 증가할

(단위: 1억 달러)

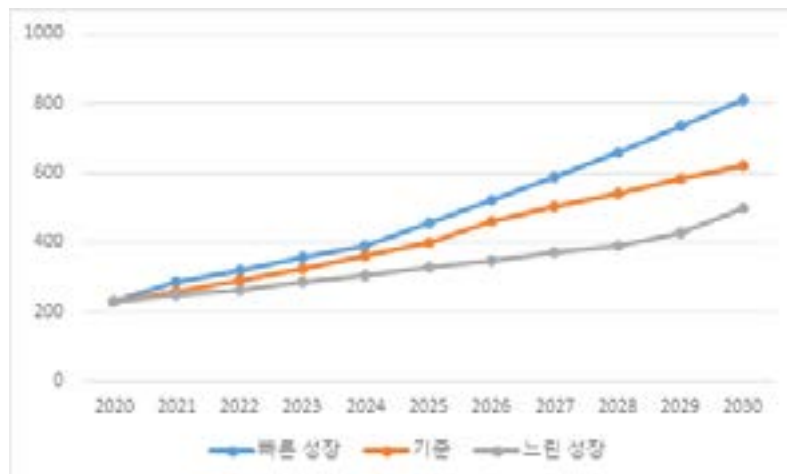


그림 8. 식물성 대체 유제품 시장의 성장 시나리오

주: 2021. 8. 17일자 Supermarket News의 “Plant-based foods are here to stay – and grow”에서 제시된 수치를 참고하여 그린 것임.

수 있을 것으로 내다보고 있다. 반면 제약적인 조건으로 인해 성장 속도가 느려질 경우 식물성 대체 유제품 시장의 규모는 500억 달러에 그치겠다.

식물성 대체 유제품 시장의 가장 큰 구성 요소는 식물성 대체 우유이며 식물성 대체 유제품 매출의 약 75%를 차지한다. 식물성 대체 우유는 고연령층 소비자들의 선호도가 높으며 가장 인기 있는 식물성 대체 우유는 콩으로 만든 두유이다. 두유에 이어 아몬드 우유와 귀리 우유 제품도 빠르게 성장하고 있다.⁴⁾ 시장조사 업체인 퓨처마켓인사이트에 따르면 식물성 대체 우유 시장의 연평균 성장률은 8.8%로 2031년까지 307억 9,000만 달러의 규모로 성장할 것으로 예상된다.

식물성 대체 계란 시장 역시 성장 잠재력이 크며 식물성 대체 어류 시장도 상당한 주목을 끌고 있다. 식물성 대체 어류 시장 규모는 2030년 13억 달러까지 증가할 것으로 예상되며 특히 식물성 대체 새우가 가장 많이 소비되는 품목으로 부상하게 될 것이란 전망도 나오고 있다.

2) MZ세대와 플렉시테리언 미래 식물성 식품 시장 주도

MZ세대와 플렉시테리언이 식물성 식품에 대한 선호도가 가장 높으며 미래의 식물성 식품 시장을 주도할 것으로 보인다. MZ세대는 1980년대 초반부터 2000년대 초반 사이에서 출생한 밀레니얼 세대와 1990년대 중반부터 2000년대 초반 사이에 출생한 Z세대를 통칭하는 말이다. 디지털 환경에 익숙한 MZ세대는 모바일을 우선적으로 사용하고, 최신 트렌드와 남과 다른 이색적인 경험을 추구하는 특징을 보인다. 소비 형태와 관련해서 MZ세대는 사회관계망(SNS)을 기반으로 유통시장에서 강력한 영향력을 발휘하는 소비 주체로 부상하고 있다. MZ세대는 집단보다는 개인의 행복을, 소유보다는 공유(렌탈이나 중고시장 이용)를, 상품보다는 경험을 중시하는 소비 특징을 보이며, 단순히 물건을 구매하는 데에서 그치지 않고, 사회적 가치나 특별한 메시지를 담은 물건을 구매함으로써 자신의 신념을 표출하는 이른바 미닝아웃의 소비를 한다. 또한 이들 세대는 미래보다는 현재를, 가격보다는 취향을 중시하는 성향을 가진 이들이 많아 '플렉스' 문화와 명품 소비가 여느 세대보다 익숙하다는 특징도 있다.⁵⁾

식물성식품협회(Plant Based Food Association) 조사 자료에 따르면 밀레니얼 세대는 식물성 대체 육류를 이미 섭취한 경험이 있다가 79%이며 더 섭취하겠다는 것이 30%로 나타났다. Z세대는 일주일에 한번 내지 두 번 식물성 대체 육류를 섭취한다가 79%, 더 섭취하겠다는 것이 60%로 밀레니얼 세대보다 Z세대의 식물성 대체 육류에 대한 선호도는 높은 것으로 나타났다.

케리그룹(Kerry Group)의 연구 결과에 따르면 식물성 식품과 음료는 광범위한 청중에게 어필하지만 특히 밀레니얼과 X세대에게 더 강하게 반향을 일으키는 경향이 나타났다. 신혼 Z세대는 개인의 건강과 지속 가능성에 중점을 두면서 식물성 식음료의 최대 소비자가 될 것으로 전망했다.

동물성 단백질을 회피하는 채식주의자들에게 있어서 식물성 단백질 식품은 매우 중요한 단백질 공급원이 되며 식물성 단백질 식품의 주요 고객이 된다. 채식주의도 먹는 음식에 따라 여러 단계로 구분되는데 육식을 피하고 식물을 재료로 만든 음식만을 먹는 극단적 채식주의자들이 있는 반면 채식을 하지만 가끔씩 육류를 섭취하는 준채식주의자들도 있다.⁶⁾ 시장의 초점은

4) 시장조사기관 닐슨에 따르면 미국에서의 귀리 우유는 2020년에 2억 5,200만 달러의 매출을 기록했으며 시장에서 가장 빠르게 성장하고 있는 것으로 조사됐다.

5) 네이버 지식백과-시사상식사전, “MZ세대”

6) 채식주의자를 단계로 나눠 구분하는데 프루테리언(frutitarian)은 극단적 채식주의자로 채식 중에서도 과일과 견과류만 허용한다. 비건(vegan)은 완전 채식주의자로 육식을 모두 거부하고 식물성 식품만

준채식주의자인 플렉시테리언에 주목하고 있다.

3) 식물성 식품 시장의 성장을 위해 고려해야 할 사항

식물성 식품 시장의 성장을 위해서는 해결해나가야 할 여러 가지 문제도 뒤따른다. 가장 먼저 고려해야 할 사항은 맛, 풍미, 식감이다. 식물성식품협회는 모든 식품의 첫 번째 구매 요인으로 맛을 꼽고 있다. 소비자들이 맛보다 건강과 영양을 우선시하지는 않을 것이기 때문이다. 조사 결과 2017년에는 57%의 소비자가 맛보다 영양이 더 중요하다는 데 동의했지만 2019년에는 48%의 소비자만 동의했다. 색상, 풍미, 맛, 향 등의 동물성 단백질에 익숙해져있는 소비자를 식물성 단백질 식품으로 유인하기 위해서는 식품과학의 계속된 연구 개발과 기술적인 보완이 필요하다.

식물성 식품 시장이 고기 맛을 내기 위해 나트륨, 향신료 등의 첨가제를 다량 사용하는 것도 문제가 된다. 이에 대응해 기능성 성분을 추가하기 위한 천연 향신료 및 유기농 향신료 산업의 발전이 뒷받침되어야 한다.⁷⁾

그밖에 글루텐 문제, 유전자변형(GMO) 사용 문제 등으로 소비를 회피하려는 경향도 있어 그에 대한 대안도 마련해야 할 것이다. 소비자들은 유기농 제품, 나트륨 함량이 적은 제품, 글루텐이 없는 제품, 비유전자변형 제품 등을 선호하고 있다. 특히 개인의 건강을 중요시하는 MZ세대는 이와 같은 문제에 있어서 상당히 민감하다.

기술적인 부분 이외에 경제성의 관점에서 식물성 단백질 식품과 기존 동물성 단백질 식품간의 가격 격차를 줄여야 한다. 식물성 식품 기업은 생산 효율성 창출을 통해 생산 비용을 줄이고 가격을 낮춰야 한다. 그와 관련해 기업들이 규모의 경제를 실현하고 유통망을 확대하는 등 다양한 전략을 세워야 한다.

또한 식품 명칭, 영양 성분 등의 표시사항을 포함한 제도적인 문제와 법적 규제, 행정적인 사항에서의 새로운 문제도 야기될 수도 있어 이와 관련한 면밀한 검토가 이뤄져야 할 것이다.

4) 식물성 단백질 자원 시장의 규모 확대

식물성 단백질 식품의 공급원인 식물성 단백질 자원 시장 역시 괄목할만한 성장이 이루어질 것으로 예상된다. 지속 가능성, 건강, 종교적 가치, 환경 및 동물 보호 등의 이유로 동물성 단백질에서 식물성 단백질로 수요의 변화가 일어나면서 동물성 단백질을 대체할 수 있는 대두, 완두와 같은 고단백 식물성 자원에 대한 수요는 큰 폭으로 증가할 것으로 전망된다.⁸⁾

먹는다. 락토 베지테리언(lacto-vegetarian)은 육류와 어패류, 달걀 등은 먹지 않고 우유, 유제품을 먹는 채식주의자를 말한다. 오보 베지테리언(ovo-vegetarian)은 육류, 생선, 해물, 우유, 유제품은 먹지 않지만 달걀은 먹는 채식주의자를 말한다. 락토오보 베지테리언(lacto-ovo-vegetarian)은 채식을 하면서 달걀이나 우유를 먹거나 마시는 채식주의자를 말한다. 페스코 베지테리언(pesco-vegetarian)은 채식을 하면서 유제품, 달걀, 어류를 먹는 채식주의자를 말한다. 폴로 베지테리언(pollo-vegetarian)은 채식을 하면서 우유, 달걀, 생선, 닭고기까지 먹는 준채식주의자를 이른다. 플렉시테리언(flexitarian)은 채식을 하지만 아주 가끔 육식을 겸하는 준채식주의자를 말한다(네이버 지식백과-시사상식사전, “채식주의자”).

7) 세계 천연 및 유기농 향료 시장도 활성화될 것으로 기대된다. International Flavors & Fragrances, Givaudan, Sensient Technologies, Symrise와 같은 기업들이 시장을 주도하겠으며, 시장은 2026년까지 113억 달러의 규모로 성장할 것으로 기대된다.

8) 글란비아 뉴트리셔널은 최근 시장조사기관인 네츄럴마케팅인스티튜트에 의뢰하여 약 800명의 미국 소비자를 대상으로 다양한 제품에 대한 단백질 사용량과 소비자가 관심을 갖는 단백질 특성을 조사했다. 조사 결과 미국 소비자의 42%가 다양한 단백질 공급원에 대한 인식을 가지고 있으며 단백질 사용 비중이

식물성 단백질 자원으로 소비 비중이 가장 높은 대두는 다른 식물성 단백질 자원에 비해 가용성 및 효율성이 뛰어나다. 대두는 발효 및 가공 식품으로서 뿐만 아니라 식재료로서 다양한 요리에 활용되고 있다. 대두 다음으로 각광을 받고 있는 식물성 단백질 자원은 완두이며 세계 완두 단백질 시장 규모는 2019년 약 4,902만 달러였다. 완두 단백질은 2020년부터 2027년의 기간 동안 23.6%가 넘는 성장이 예상된다. 그밖에 쌀, 카놀라, 햄프시드 단백질을 포함한 기타 식물성 단백질 공급원도 큰 폭으로 증가할 것으로 예상된다.

세계적인 곡물 메이저들도 앞 다퉈 식물성 단백질 시장에 뛰어들고 있다. 에이디엠(ADM)은 대두, 완두 및 밀 등의 식물성 단백질을 제공하고 있으며, 병기(Bunge)는 파바빈, 완두, 카놀라 및 대두 단백을 생산하라고 있다. 카길(Cargill) 역시 식물성 단백질 분야에 진출해 대두 단백질과 옥수수 단백을 제공하고 있으며 퓨리스푸드와의 파트너십을 통해 북미 최대 완두 단백질 생산업체가 되었다. 그밖에 식물성 단백질 재료들을 생산하는 대표적인 기업들로는 E.I. 듀퐁(E.I. Dupont De Nemours And Company), 케리그룹(Kerry Group), 나우푸드(Now Foods), 벌칸 뉴트라사이언스(Burcon Nutrascience Corporation), 소텍스프로(Sotexpro SA), 파베스트(Farbest Brands), 윌마(Wilmar International), 씨에이치에스(CHS Inc) 등이 있다.

가장 높은 품목은 대두 단백질로 31%를 차지했다. 햄프시드는 18%, 완두 단백질은 13%를 차지했다.

참고 문헌

(국내 문헌)

김보경(2021), 「대체 단백질 식품 트렌드와 시사점: 푸드테크가 여는 새로운 미래」, 한국무역협회, 16호.

aT 지구촌리포트(2021. 3), 「채식주의 & 식물성 대체육」, KATI, 107호.

(온라인 자료)

네이버 지식백과(두산백과), “강낭콩”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1056913&cid=40942&categoryId=32718>

네이버 지식백과(두산백과), “귀리”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1068433&cid=40942&categoryId=32102>

네이버 지식백과(두산백과), “두부”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1084991&cid=40942&categoryId=32109>

네이버 지식백과(두산백과), “대마씨”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=4337084&cid=40942&categoryId=39993>

네이버 지식백과(두산백과), “렌틸콩”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=2829364&cid=40942&categoryId=32102>

네이버 지식백과(두산백과), “밀”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1097086&cid=40942&categoryId=32102>

네이버 지식백과(두산백과), “보리”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1102450&cid=40942&categoryId=32102>

네이버 지식백과(음식백과), “보리”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=777174&cid=48180&categoryId=48247>

네이버 지식백과(음식백과), “베이크트빈”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5840410&cid=40942&categoryId=40507>

네이버 지식백과(두산백과), “아마란스”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1120824&cid=40942&categoryId=32102>

네이버 지식백과(시사상식사전), “아마란스”

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=2212700&cid=43667&categoryId=43667>
 네이버 지식백과(두산백과), “완두”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1129285&cid=40942&categoryId=32102>
 네이버 지식백과(두산백과), “치아시드”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=2841962&cid=40942&categoryId=32102>
 네이버 지식백과(음식백과), “칠리 콘 카르네”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5759244&cid=48183&categoryId=48282>
 네이버 지식백과(시사상식사전), “채식주의자”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1833346&cid=43667&categoryId=43667>
 네이버 지식백과(세계 음식명 백과), “카슐레”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=3385653&cid=42717&categoryId=42718>
 네이버 지식백과(두산백과), “콩”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1150598&cid=40942&categoryId=32102>
 네이버 지식백과(두산백과), “퀴노아”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1166873&cid=40942&categoryId=32102>
 네이버 지식백과(시사상식사전), “퀴노아”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=2212701&cid=43667&categoryId=43667>
 네이버 지식백과(두산백과), “탐페”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1247618&cid=40942&categoryId=32139>
 네이버 지식백과(세계 음식명 백과), “파바다”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=2432948&cid=42717&categoryId=42718>
 네이버 지식백과(브라질 여행), “페이조아다”
https://terms.naver.com/entry.naver?docId=6174885&cid=67006&categoryId=67804&anchorTarget=TABLE_OF_CONTENT1#TABLE_OF_CONTENT1
 네이버 지식백과(시사상식사전), “MZ세대”
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5900733&cid=43667&categoryId=43667>
 위키백과, “페이조아다 아 브라질레이라”
https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%8E%98%EC%9D%B4%EC%A1%B0%EC%95%84%EB%8B%A4_%EC%95%84_%EB%B8%8C%EB%9D%BC%EC%A7%88%EB%A0%88

%EC%9D%B4%EB%9D%BC

- ADM, <https://www.adm.com/>
- Beyond Meat, <https://www.beyondmeat.com/>
- Bunge, <https://www.bunge.com/>
- Cargill, <https://www.cargill.com/>
- Eat Just, <https://www.ju.st/kr/>
- FAOSTAT, <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- FD(2021. 4. 6), “Plant-based food worth \$7B in 2020, posting 27% growth”,
<https://www.fooddive.com/news/plant-based-food-worth-7b-in-2020-posting-27-growth/597865/>
- FI(2021. 8. 10), “Analyst: Plant-Based Food to See Massive Growth in Next Decade”,
<https://foodinstitute.com/focus/analyst-plant-based-food-to-see-massive-growth-in-next-decade/>
- Gathered Foods, <https://gatheredfoods.com/>
- GN(2021. 9. 8), “Global Plant Protein Market Growth Outlook 2021-2029: Vegan Diet and Sustainable Lifestyle Preferences Drive the Market”,
<https://www.globenewswire.com/news-release/2021/09/08/2293093/28124/en/Global-Plant-Protein-Market-Growth-Outlook-2021-2029-Vegan-Diet-and-Sustainable-Lifestyle-Preferences-Drive-the-Market.html>
- Green Monday, <https://greenmonday.org/en/omnifoods/>
- IFT(2020. 10. 1), “Plant-Based Protein Market Grows Stronger”,
<https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2020/october/columns/nutraceuticals-plant-based-protein-market-grows-stronger>
- Nasdaq(2020. 12. 9), “World Reimagined: The Future of Plant-Based Foods”,
<https://www.nasdaq.com/articles/world-reimagined%3A-the-future-of-plant-based-foods-2020-12-09>
- NFM(2021. 8. 13), “Plant-based protein market to top \$150 billion by 2030”,
<https://www.newfoodmagazine.com/news/154922/plant-based-protein-market-162-billion/>
- Oatly, <https://www.oatly.com/oatly-who>
- PBN(2021. 8. 11), “GROUNDBREAKING: Plant Based Food Market To Skyrocket To \$162 Billion, Says Bloomberg”,
<https://plantbasednews.org/news/economics/plant-based-market-skyrocket/>
- PBN(2021. 9. 23), “US Plant-Based Meat Market To Exceed \$2.6 Billion By 2027, Says Report”,
<https://plantbasednews.org/news/economics/us-plant-based-meat-market/>
- Plant Based Foods Association, <https://www.plantbasedfoods.org/retail-sales-data/>
- PRN(2021. 4. 14), “Global Plant Based Food Market Report 2020-2027: Rising Industry Concentration with Growth in Mergers and Acquisitions in the

Plant-Based Products Space”,
<https://www.prnewswire.com/news-releases/global-plant-based-food-market-report-2020-2027-rising-industry-concentration-with-growth-in-mergers-and-acquisitions-in-the-plant-based-products-space-301268737.html>

SN(2021. 4. 6), “U.S. plant-based food retail sales jumped 27% in 2020”
<https://www.supermarketnews.com/consumer-trends/us-plant-based-food-retail-sales-jumped-27-2020>

SN(2021. 8. 17), “Plant-based foods are here to stay — and grow”,
<https://www.supermarketnews.com/organic-natural/plant-based-foods-are-here-stay-and-grow>

USDA, FAS, “Production Supply and Distribution”
 USDA, “World Agricultural Supply and Demand Estimates”
 Vegconomist(2021. 6. 10), “Plant-Based Industry Projected to Increase X 100 and Reach \$1.4 TRILLION”,
<https://vegconomist.com/studies-and-numbers/plant-based-industry-projected-to-reach-1-4-trillion/>

Wikipedia, “Beyond Meat”,
https://en.wikipedia.org/wiki/Beyond_Meat

Wikipedia, “Danone”,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Danone>

Wikipedia, “Eat Just”,
https://en.wikipedia.org/wiki/Eat_Just

Wikipedia, “Edamame”,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Edamame>

Wikipedia, “Eintopf”,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Eintopf>

Wikipedia, “Green Monday”,
[https://en.wikipedia.org/wiki/Green_Monday_\(organization\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Green_Monday_(organization))

Wikipedia, “Hormel Foods”,
https://en.wikipedia.org/wiki/Hormel_Foods

Wikipedia, “Impossible Foods”,
https://en.wikipedia.org/wiki/Impossible_Foods

Wikipedia, “Kellogg's”,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Kellogg%27s>

Wikipedia, “Nestlé”,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Nestl%C3%A9>

Wikipedia, “Oatly”,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Oatly>

Wikipedia, “Perdue Farms”,
https://en.wikipedia.org/wiki/Perdue_Farms

Wikipedia, “Pork and beans”,

https://en.wikipedia.org/wiki/Pork_and_beans
Wikipedia, "Smithfield Foods",
https://en.wikipedia.org/wiki/Smithfield_Foods
Wikipedia, "Tyson Foods",
https://en.wikipedia.org/wiki/Tyson_Foods
Wikipedia, "Unilever",
<https://en.wikipedia.org/wiki/Unilever>

제3세부 과제

곤충이용 식품 및 대체육 소재 개발 현황

연구책임자 : 남성희 국립농업과학원 곤충양잠산업과장
공동연구자 : 황재삼, 이준하, 김인우, 김선영

연구기간 : 2021년 1월 1일 ~ 2021년 10월 31일

2021년 10월

곤충이용 식품 및 대체육 소재 개발현황

남성희, 황재삼, 이준하, 김인우, 김선영

목차

1. 서론

- 1.1. 연구 필요성 및 목적
- 1.2. 연구 범위와 방법
- 1.3. 국내외 시장 분석

2. 식용곤충 이용 대체 단백질 개발의 연구 동향 및 개발

- 2.1. 단백질 신소재 개발을 위한 식품 원료 등록
- 2.2. 식용단백질을 이용한 제품 개발
- 2.3. 식용곤충 기능성 연구 현황
- 2.4. 식용곤충 유래 대체 단백질 개발

3. 식용곤충 이용 과제발굴

- 3.1. 식용곤충 이용 가정간편식(HMR) 및 밀키트 제형과 제품 개발
- 3.2. 식용곤충 함유한 고단백 영양보충제 및 영양액 개발
- 3.3. 식용곤충 유래 노인성 만성질환 개선 제품의 개발 및 활용
- 3.4. 3D 푸드 프린팅을 활용한 대체육 개발

4. 맺는말

1. 서론

1.1. 연구 필요성 및 목적

식용곤충(edible insect)이란 식용을 목적으로 하는 곤충을 통칭한다. 현재 아프리카, 아시아, 남아메리카 및 호주 등의 많은 지역에서 동물성 단백질, 필수아미노산 및 미량영양소 섭취를 위해 메뚜기, 흰개미, 딱



그림 1. 전세계 식용곤충식 이용 현황

출처: 2015 식용곤충식 해외시장 보고서

정벌레 등의 다양한 곤충을 식용으로 이용하고 있다(그림 1). 식용으로 이용되는 곤충으로는 나비목(Lepidoptera), 딱정벌레목(Coleoptera), 메뚜기목(Orthoptera), 흰개미목(Isoptera)과 벌목(Hymenoptera) 등이 있다. 나비목 곤충은 앙골라, 나이지리아, 남아프리카의 Pedi, 호주 중북부, 수단, 파푸아뉴기니, 에콰도르, 멕시코, 태국 및 중국 등에서, 딱정벌레목 곤충은 앙골라, 콩고, 파푸아뉴기니, 가나, 필리핀, 태국, 콜롬비아, 멕시코 및 에콰도르 등에서, 메뚜기목 곤충은 말라위, 수단, 태국, 짐바브웨, 필리핀, 파푸아뉴기니, 에콰도르 및 멕시코 등에서, 흰개미목에 속하는 곤충은 앙골라, 카메룬, 케냐, 나이지리아, 짐바브웨, 필리핀 및 콜롬비아에서, 벌목에 속하는 곤충은 필리핀, 중국, 태국, 파푸아뉴기니, 에콰도르 및 멕시코 등에서 식용으로 이용되고 있다(FAO, 2013).

이러한 식용곤충은 일반적으로 조단백질 함량이 50~60% 정도로 매우 높게 함유되어 있는 고급 단백질 공급원으로서의 중요성이 보고된 바 있고, 조지방 함량은 8.1~59%, 섬유소 함량은 4.9~12.1%, 그 밖의 풍부한 무기질(Fe)과 비타민 B 등을 함유하고 있으며 식용곤충의 종(species)과 서식지에 따라 영양성분의 함량 차이가 있을 수 있다(FAO, 2013; 농촌경제연구원, 2019).



그림 2. 세계 인구 변동 예측 및 식량 위기

출처: 유엔(UN) 세계인구전망 보고서, 2017

국제연합식량농업기구(FAO)는 세계 인구가 지속적으로 증가하여 2050년경 세계 인구가 약 98억 명에 달하여 현재보다 두 배 이상의 식량이 필요할 것으로 예상하므로 이를 대비하기 위한 새로운 식량이 필요하며 이에 적합한 것으로 곤충을 지목하였다(그림 2). 그 이유는 곤충은 가축에 비해 사육 면적이 적게 소요되어 높은 토지 이용 효율을 보이고, 한 번에 수백여 개의 알을 낳으며 세대 순환이 빠르므로 짧은 시간에 대량생산이 가능하기 때문이다. 또한 동일한 양을 생산할 때 필요한 사료가 육류에 비해 적기 때문에 경제적이란 장점이 있다(그림 3). 영양적 측면에서도 곤충은 소고기, 닭고기 등 기존 주요 단백질원의 대안이라고 생각할 수 있을 만큼 단백질이 풍부할 뿐만 아니라 혈행 개선 효과가 있는 불포화지방산이 총



그림 3. 식용곤충의 영양학적, 환경학적 가치

출처: 국제신문, 농촌진흥청, 농림축산식품부

지방산의 70% 이상을 차지하고 있으며 칼슘, 철 등의 무기질 함량 또한 높아 영양적 가치가 높은 것으로 평가된다. 가축이 배출하는 온실가스량은 지구 전체 온실가스 발생량의 18% 이상을 차지하는데, 갈색거저리의 경우 1kg당 돼지의 10분의 1 정도의 온실가스를 생성함으로써 친환경적이라고 볼 수 있다(김선영, 2020).

2013년 국내 축산업에 양잠업을 합친 축잠업 시장은 16조 3,122억 원에 이르고 있는 실정으로 2012년 대비 1.4% 증가하였으나 가축 질병 발생 등의 이유로 안전한 식용육류 확보를 위한 노력이 필요하다. 따라서, 육류 대체 식품에 대한 필요성이 점진적으로 증대되고 있으므로 단백질이 풍부한 곤충은 육류에 대한 새로운 대안이라고도 볼 수 있다(국립식량과학원, 2018). 지속 가능한 미래 먹거리인 식용곤충에 대한 국내외 동향을 파악하는 것은 대체 단백질 개발을 위해 필수적이다.

1.2. 연구 범위와 방법

지난 10년 동안 식품원료 등록된 10종의 곤충에 대한 원료 특성, 기능성, 가공제품, 건강기능식품 개발, 대체 단백질 개발의 잠재적 가치를 분석하여 대체 식품소재개발과 3D 푸드 프린팅 기술을 중심으로 살펴보고자 한다.

1.3. 국내외 시장 분석

최근에 유전자원으로서의 곤충자원에 대한 중요성을 인식하고 ‘유용생물자원산업’, ‘국가기술 분류체계 및 과기처 지원’, ‘곤충자원 이용기술 연구회’ 등을 통해 국가정책 차원에서 관련사업을 지원 또는 수행 중에 있다. 곤충의 식·약용 소재화 연구는 농림축산식품기술기획평가원의 2010년도 생명산업기술개발사업인 “곤충자원의 식·약용 소재화를 위한 약리성 검정 및 독성평가”과제를 시작으로 현재 갈색거저리, 쌍별귀뚜라미(’16.3.9.), 장수풍뎅이, 흰점박이꽃무지(’16.12.27.)가 한시적 식품원료 인정 절차를 통해 한시적 식품원료로 인정(2014년)받았다가 2016년 일반 식품원료로 전환되어 현재 식품공전에 등록되어 있다. 2020년에 아메리카왕거저리 유충(탈지 분말)(’20.1.16.), 수벌 번데기(’20.7.9.)와 2021년 풀무치(’21.9.13.)가 농촌진흥청의 연구와 식품의약품안전처의 심사를 거쳐 한시적 식품원료로 인정되었다(윤형주 외, 2021). 따라서 현재 국내에서 법적으로 허용된 식용곤충은 10종이며, 식품공전에는 한시적 식품원료는 포함되어 있지 않으므로 식품공전 등재 식용곤충은 2021년 현재 7종이다. 우리나라의 곤충산업 또한 시장규모가 급성장하고 있으며, 바이오 신성장 동력산업으로 성장할 가능성이 크다(남성희 외, 2020). 국가가 직접 정책을 육성하고 있으며, 연구개발 및 산업화를 위해 적극적으로 지원하고 있으며, 국내 곤충 사육농가 및 관련 산업 종사자와 판매액 또한 매년 증가 추세이다(그림 4).

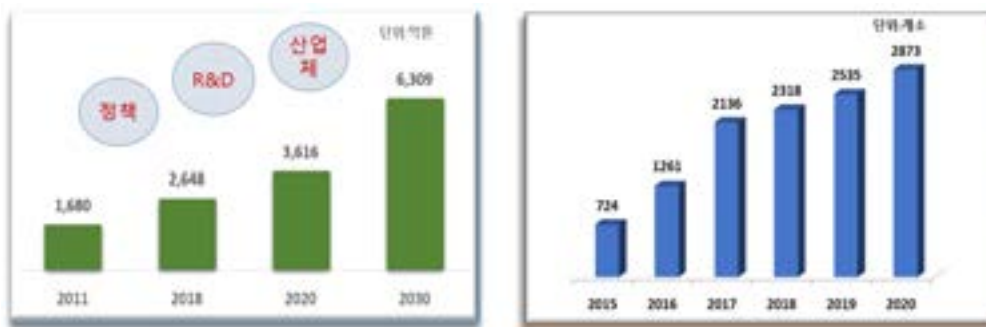


그림 4. 국내 곤충산업 현황(왼쪽) 및 곤충사육 농가수(오른쪽)

한편 국제연합식량농업기구(FAO)는 식량부족 해결을 위해 대량 사육이 가능하고 영양학적 가치가 우수한 곤충을 미래식량 자원으로 활용하는 연구에 적극적이다. 시장 조사기관인 글로벌마켓 인사이트는 세계 식용곤충 시장이 오는 2026년 15억 달러 규모에 달할 것으로 예측하고 있다(그림 5).



그림 5. 세계 식용곤충 시장 현황 및 전망

출처: Global market insights, 2021

태국, 중국, 베트남이 주도하는 아시아-태평양 지역의 곤충 시장은 2015년 이미 1,200만 달러의 규모를 보였는데, 낮은 원재료비와 유통비가 관련 산업 성장에 긍정적인 영향을 준 것으로 판단된다. 태국은 2만 개 이상의 농가에서 연간 7,500톤의 곤충을 생산하는 세계 최대의 식용곤충 생산국이며, 2003년에 설립된 Thailand Unique는 풀무치, 수벌 번데기, 아메리카왕거저리 등을 포함한 곤충 식품을 온라인으로 판매하고 있다. 또한 중국의 경우 오랫동안 곤충을 식품으로 취급해온 나라로 특히 운남성을 중심으로 거주하고 있는 다이족이 곤충을 즐겨 먹는 것으로 알려져 있고, 북경 왕푸징 거리는 관광객들을 대상으로 식용곤충을 파는 것으로 유명하다(그림 6).



그림 6. 아시아태평양 식용곤충 시장 현황

출처: 세계농업 제207호, 2017; kita.net

이 외에도 중국의 식용곤충 식품 제조사인 HaoCheng Mealworm사는 갈색거저리와 아메리카왕거저리를 월평균 50톤 규모로 생산하며, 호주, 유럽, 북미, 동남아시아에 건조 갈색거저리를 매년 200톤 정도 수출하는 것으로 알려져 있다. 중국 쑤저우에 위치한 2006년에 설립된 갈색거저리, 아메리카왕거저리 등 가공업을 하는 기업인 Xincheng Shengwu Yangzhi는 현재 월 13,000kg을 생산, 판매하고 있으며, 홈페이지에 아메리카왕거저리가 암, 비만 등을 예방하고 산화를 방지하며 면역력을 증강하는 효과도 탁월하다고 소개하고 있다.

유럽의 경우, 아태 지역 다음으로 규모가 큰 식용곤충 시장이 될 것으로 전망되고 있다. 2013년 말에 벨기에 연방식품안전청(AFSCA)에서 갈색거저리와 풀무치 등 곤충 10종을 식품원료로 인정하였다. 유럽연합(EU)에서는 1997년부터 노블 푸드를 자체적으로 검사하여 인정하는 제도를 실시하고 있다. 2018년 1월에 미래 식량으로 두각을 나타내고 있는 곤충이 EU의 새로운 식품 규정을 통해 '노블 푸드'로 승인되었다. 새 규정에는 곤충이 "단백질이 풍부하고 사람에게 이로운 영양소를 제공하며, 사육 시에도 가축보다 더 적은 사료가 사용된다"라고 명시하고 있으며, 2021년 현재 EU에서 법적으로 식용이 허가되는 곤충은 집귀뚜라미(*Acheta domesticus*), 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충, 풀무치(*Locusta migratoria*) 3종으로 이들은 EFSA(유럽식품안전청) 내 식품 규정을 따른다.



그림 7. 유럽의 식용곤충 시장 현황

출처: 세계농업 제207호

네덜란드의 Van de Ven insect rearing company는 식용곤충 사육업체로 아메리카왕거저리를 판매하고 있다. 영국의 Eat grub은 영국의 대표 식용곤충 판매회사로 네덜란드에서 사육된 귀뚜라미, 갈색거저리 유충, 메뚜기 등을 스낵, 분말로 만들어 판매한다(그림 7). 프랑스의 대표 식용곤충 판매회사인 엔토모파지는 식용 아메리카왕거저리뿐 아니라 요리책도 판매하고 있다(김선영, 2020).



그림 8. 북미 식용곤충 시장 현황

출처: 한국농수산물유통공사, 2018

북미에서도 2018년 4,400만 달러에 달하던 식용곤충산업 규모가 2023년에는 15,400만 달러로 전망되어 연평균 28% 성장을 기대하고 있다. 미국은 귀뚜라미와 갈색거저리 유충을 안전한 식용곤충으로 인정해 산업 성장이 가속화되고 있으며, 2,000여 개 곤충 중에서 약 90개를 식용색소, 의약품 보조제 등으로 개발하고 있다. 또한, 캐나다도 미국을 따라 빠르게 성장하고 있으며, 퀘벡의 Tottem Nutrition사는 귀뚜라미 분말로 만든 곤충 파스타와 갈색거저리 유충을 이용한 유기농 밀, 글루텐 가루를 개발해 식용곤충 시장을 확대했다(그림 8).

호주와 뉴질랜드(2014년)에서는 아메리카왕거저리(*Zophobas morio*(=*Zophobas atratus*)), 갈색거저리(*Tenebrio molitor*), 집귀뚜라미(*Achaeta domestica*)에 대해 non-traditional food이자 non-novel(안전상의 위험이 없는 것으로 확인된 전래적 식용 근거가 없는 음식)로 규정하고 있어 식용으로 누구나 활용할 수 있다(Sogari et al, 2019).

2. 식용곤충 이용 대체 단백질 개발의 연구 동향 및 개발

2.1. 단백질 신소재 개발을 위한 식품 원료 등록

새로운 식품 원료로 등록하기 위한 연구를 통해 기존에 식품공전에 등재되어 있던 벼메뚜기, 식용누에 유충, 번데기, 백강잠 3종 외에 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충과 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis*) 유충 등 7종이 과학적인 원료의 특성, 영양성, 안전성 연구 결과를 통해 안전성과 식품으로서의 유용성을 평가받아 새로운 식품 원료로 식약처로부터 인정을 받았다(그림 9). 이 중 갈색거저리 유충과 쌍별귀뚜라미, 흰점박이꽃무지 유충 및 장수풍뎅이 유충이 2016년 식품공전에 정식으로 등록되어, 현재 식품공전에 등재된 식용곤충이 7종(벼메뚜기, 누에 유충, 번데기, 백강잠, 갈색거저리 유충, 쌍별귀뚜라미, 흰점박이꽃무지 유충 및 장수풍뎅이 유충)이고, 식품원료로 한시적 인정된 곤충은 아메리카왕거저리 유충, 수벌 번데기, 풀무치 3종이다(표 1).

표 1. 새로운 식품원료로 인정된 식용곤충

등록년도	~2014	2016	2020	2021
등록종	벼메뚜기, 누에 번데기, 백강잠	갈색거저리 유충, 쌍별귀뚜라미, 흰점박이꽃무지 유충, 장수풍뎅이 유충	아메리카왕거저리 유충(탈지 분말), 수벌 번데기 (한시적 등록)	풀무치 (한시적 등록)
합계	3종	4종	2종	1종



그림 9. 우리나라의 식용곤충 10종

이들 곤충들은 기원 개발경위, 국내·외 인정 및 사용현황, 제조방법, 원료 특성, 안전성 평가 등의 자료를 구비하여 식약처에 제출 후 안전성 등의 심사를 통해 한시적으로 인정받은 후 일정 기간 한시적 식품원료 등록한 자에 한하여 판매가 가능하다(그림 10-11). 차후 일반식품원료로 전환되어 식품공전에 등재된 이후 부터는 누구나 판매할 수 있고, 구매할 수 있다. 식용곤충은 영양적, 환경적으로 가치가 높은 미래식량이지만, 식용곤충에서 키틴은 갑각류와 교차 항원성과 공동 감작성을 나타내는 것으로 알려져 있다(정경용, 2016). 또한, 갑각류, 조개류, 집먼지 진드기에 알레르기가 있는 사람들은 식용곤충과 교차 항원성 가능성이 있으므로 섭취하지 않을 것을 권고한다(Ribeiro et al, 2018). 그러나, 위생적인 가공 방법(열처리, 효소에 의한 가수분해)을 준수했을 때, 갑각류, 집먼지 진드기에 알레르기가 있는 환자 혈청에서 IgE 결합이 사라짐을 확인한 사례도 있었으므로(Pali-Schöll et al, 2019), 표준화된 제조 공정에 따라 식용곤충을 사육하고 가공하는 것의 중요성을 확인할 수 있었다.



그림 10. 제출자료의 범위

「식품 등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준」고시에서 제출자료의 범위 및 작성요령을 규정



그림 11. 한시적 식품원료 인정 절차

식용곤충의 분말제조 조건 확립을 위해 곤충을 식품으로 사용하고자 할 때 곤충 형태가 소비자에게 거부감을 줄 수 있으므로 이를 해소하기 위한 방법으로 갈색거저리 유충을 동결 건조한 후 분쇄하여 분말을 제조하였다. 그러나 제조한 분말에서 이취가 났으며, 이러한 이취는 장 내 정체물질로 인해 발생한 것으로 추정되어 절식을 통해 배변을 유도하였다. 갈색거저리 유충을 1~5일 동안 절식시키고 24시간 간격으로 중장(midgut) 내 정체물을 확인하기 위해 장을 해부한 결과, 1일째부터 중장 내 정체물이 부분적으로 감소하였고 후장(hindgut) 내 정체물이 대부분 제거되었음을 확인할 수 있었다(그림 12). 추가적으로 관능평가를 통해 2일간의 절식으로 배변 유도한 동결건조 유충 분말이 색깔, 풍미 및 전체 선호도 모두 가장 높게 평가되었으므로 멸균한 밀기울 급여 후 2일간 절식시켜 이취를 감소시킨 유충 분말이 소비자의 기호도를 고려한 식품원료로 가장 적합할 것으로 판단되었다.

식용곤충의 영양성분 비교분석한 결과 상기 분말제조 조건으로 제조된 갈색거저리 유충, 흰점박이꽃무지 유충, 갈색거저리 유충의 영양성분은 단백질 함량이 갈색거저리 유충 53%, 흰점박이꽃무지 유충 58%, 장수풍뎅이 유충은 38%이었으며 대부분의 곤충은 대표적인 식물성 단백질원인 대두와 돼지고기(삼겹살 부위)보다도 단백질 함량이 높았다. 불포화지방산은 총 지방 중 갈색거저리 76%, 흰점박이꽃무지 78%로 상당히 높았고, 그 외 칼륨, 인 등 다양한 무기질 및 비타민, 식이섬유도 존재함을 확인함으로써 식품으로 이용되기에 충분한 영양적 가치가 있음을 확인하였다.

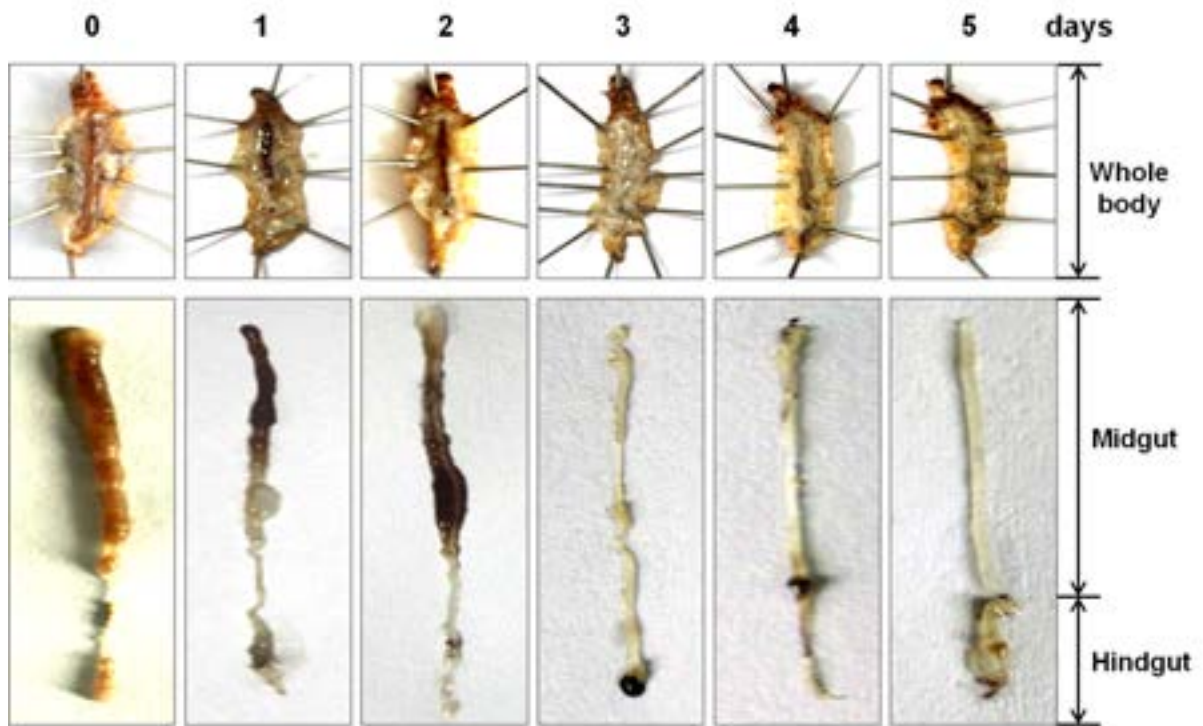


그림 12. 갈색거저리 유충 전처리 조건 확립을 위한 절식 실험

표 2. 식용곤충과 일반식품의 영양성분 비교

(g/100g)

	장수애	고소애	꽃병이	대두	생태	계란	닭	돼지	소
탄수화물	26	9	17	38	0.18	6	0.11	0.22	3.36
단백질	38	53	58	39	76	54	65	33	65
지방	29	31	18	15	15	36	29	65	32
비타민B3	0.008	0.009	0.009	-	0.004	-	0.022	0.008	0.016
철	0.027	0.005	0.006	0.009	0.004	0.008	0.001	0.001	0.009
인	0.425	0.593	0.724	0.606	1.04	0.643	0.512	0.246	0.526

출처: 농촌진흥청

식용곤충의 기호도 및 인식개선을 위하여 애칭(새로운 이름)을 공모한 결과, 갈색거저리 애벌레는 ‘고소애’로, 흰점박이꽃무지 애벌레는 ‘꽃병이’로 각각 선정되었다. 고소애는 ‘고소한 맛을 내는 애벌레’라는 뜻이며, 꽃병이는 흰점박이꽃무지의 ‘꽃’과 굴병이(예부터 불려온 흰점박이꽃무지 애벌레 이름 굴병이)의 ‘병이’를 합성해 만든 것이다. 또한 장수풍뎅이 유충은 ‘장수애’로, 쌍별귀뚜라미는 ‘쌍별이’, 수벌번데기는 ‘꿀데기’로 각각 선정되었다. 장수애는 ‘식용으로 이용하면 건강하게 장수할 수 있도록 도와주는 애벌레’라는 뜻이며, ‘쌍별이’는 본 명칭인 쌍별귀뚜라미의 특징을 담아 기억하기 쉽게 만든 것이며, ‘꿀데기’는 ‘꿀을 먹고 자란 번데기’의 줄임말로, 꿀을 섭취하며 자란 수벌 번데기의 특성을 나타내는 순 우리말이다(그림 13).



그림 13. 식용곤충 애칭공모 및 선정

식용곤충 이용 일반식 및 환자식 메뉴도 개발되었다. 과거에도 버메뚜기 및 누에 번데기가 식품으로 등재되어 있어 제조 및 판매가 가능하였음에도 불구하고 단순 조림 및 볶음 외 조리법은 전무하였으므로 그 소비가 확대되지 않고 매우 제한적이었다. 따라서 새롭게 등록된 갈색거저리 및 흰점박이꽃무지 유충의 경우에도 새로운 식품으로 널리 이용되기 위해서는 기존에 선호도가 높은 식재료와의 조합을 통한 다양한 식품에 재료로 들어가는 메뉴 개발이 이루어져서 곤충이 기피식품이 아닌 맛있는 먹거리라는 개념으로의 인식 전환의 노력이 필요하다. 이를 위해 식용곤충으로 등록에 대한 후속 연구로 갈색거저리 식품등록 후 소비확대를 위한 일환으로 2014년부터 갈색거저리 유충 등 식용곤충을 함유한 다양한 조리법이 개발되었다.

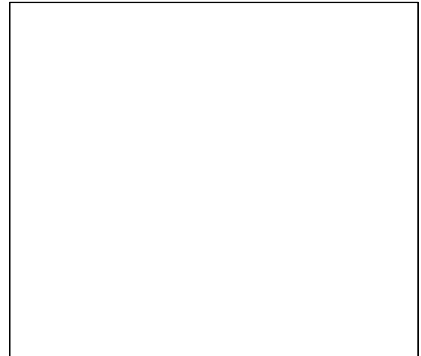
갈색거저리를 이용하여 소스로 간장양념장 등 한식양념장 3종, 토마토소스, 타르타르소스 등 양식소스 8종 및 육류용, 생선용 등 시즈닝 3종이 개발되었다. 한식메뉴 29종으로 주식류 10종(호박죽, 볶음밥, 수제비 등), 부식류 14종(추어탕, 잡채, 깻잎전 등), 후식류 5종(강정, 양갱 등)과 차와 주스류 11종(한방차, 망고에이드 등)을 개발되었다. 그리고 양식메뉴 21종으로 전채요리 1종(양파크림소스를 곁들인 밀웬 연어구이), 수프 8종(밀웬감자 수프 등), 샐러드 2종(독일식 밀웬 감자샐러드 등), 주요리 9종(닭가슴살을 이용한 햄버거 스테이크, 밀웬 소시지와 채소꼬치 등)을 개발되었다(그림 14). 또한 개발된 메뉴들에 대한 시식회를 개최하여 다양한 조리법 개발시 식용곤충의 소비에 대한 가능성을 확인할 수 있었다. 이러한 연구를 바탕으로 곤충을 이용한 조리법 및 메뉴 책자가 개발되었다(그림 15).



고소에 피자



고소에 두부선



꽃병이 고추만두

그림 14. 식용곤충을 이용하여 개발된 일반식 메뉴

※ 고소에 : 갈색거저리 유충 애칭, 꽃병이 : 흰점박이꽃무지 유충 애칭

또한 갈색거저리 유충의 풍부한 단백질을 활용하여 다양한 환자식 메뉴가 개발되었다. 고단백 항암치료식, 삼킴장애 환자를 위한 연하곤란식, 치아보조식, 케톤식, 간질환식, 위장질환식 등 다양한 환자식이 개발되었다(그림 15). 실제 위장관 수술을 받은 환자를 대상으로 갈색거저리를 이용한 영양밀도를 높은 식사를 제공하여 식사 섭취량 및 환자 영양상태 변화를 분석하고, 환자 수응도를 평가한 결과, 열량, 단백질, 지질



고소애로 만든 한식



어린이 곤충조리교실



창업을 위한 식용곤충요리



고소애로 만든 환자식 메뉴

그림 15. 식용곤충 이용 레시피를 포함한 다양한 책자

섭취량이 대조군보다 유의적으로 높았다. 갈색거저리의 높은 단백질 함량과 분말 형태의 제형으로 인해 대조군보다 열량의 영양밀도 및 단백질의 영양밀도가 유의적으로 높았고, 갈색거저리 식사는 환자가 제공량 대비 섭취량이 많았으며, 현재 병원에서 제공되는 대조군 식사에 비해 유의적으로 높은 순응도를 나타냈다. 뿐만 아니라 연구 기간 동안 갈색거저리 식사에 대한 알레르기 반응 등 이상 반응은 관찰되지 않았다.



암환자를 위한 고단백 식사
(고소애 고추장 깻잎볶음)



암환자를 위한 고단백 간식
(고소애 초코머핀)



위장관질환 환자를 위한 고단백 식사
(고소애 들깨미음)

그림 16. 갈색거저리 유충을 이용하여 개발된 환자식 메뉴

식용곤충 이용 영양임상 실험으로 갈색거저리를 이용하여 영양밀도를 높인 식사를 구성하고 이를 수술 후 환자에게 제공하여 식사섭취량과 열량 및 단백질 섭취량을 증가시키고자 단기 영양 임상 실험을 진행하였다. 수술 후 입원 기간(3주 동안) 갈색거저리 식사를 제공하여 열량 및 영양소의 섭취량 변화 영양상태 변화에서 갈색거저리 섭취군이 제지방 함량이 4.8%, 근육량이 3.7% 증가하였다(그림 17).

또한, 후속 연구로 췌담도암과 간암 환자를 대상으로 수술 직후부터 퇴원 후까지 총 2개월 동안 면역 및 인바디(inbody: 체중, 체지방률, 근육량, 내장지방 등)를 측정했다. 환자의 영양상태를 나타내는 영양지표 중 건강한 세포막의 상태를 반영하는 위상각(Phase angle) 변화량(수술 후 첫 외래→ 복용 종료 시점)이 고소애를 먹은 환자군에서 2.4% 높게 나타났다. 면역세포 중 자연살해세포(NK cell)와 세포독성 T세포(Cytotoxic T cell) 활성도가 고소애 섭취 환자군에서 각각 16.9%, 7.5% 증가했다(그림 17).

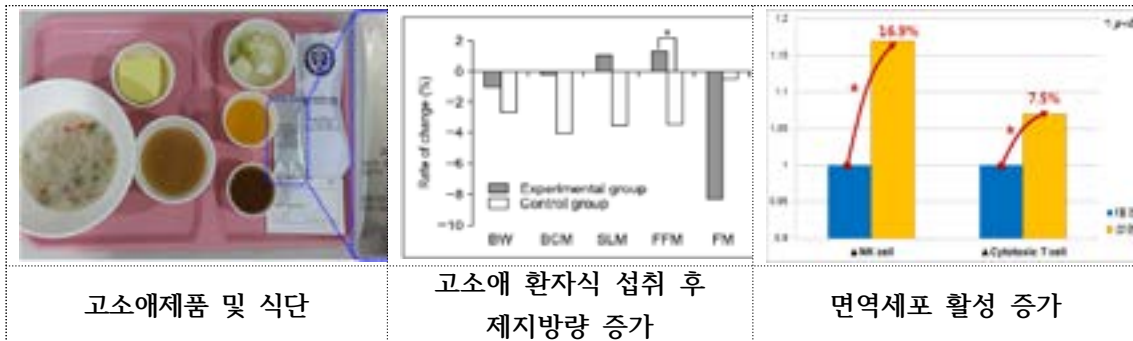


그림 17. 갈색거저리 분말을 이용한 임상시험 연구 결과

2.2. 식용단백질을 이용한 제품 개발

현재 국내에서 유통되는 식용곤충을 활용한 제품은 그림 18에 나타내었다. 현재까지 곤충의 형태가 보존된 원물의 건조물로 섭취되거나, 프로틴바, 환, 연질 캡슐, 진액, 차, 누룽지, 김, 순대, 빵, 마카롱, 젤리 등 최근 다양한 제형으로 판매되고 있는 추세이다(그림 18).



그림 18. 국내 식용곤충 제품 현황

2.3. 식용곤충 기능성 연구 현황

지구상 최다종이면서도 미개발 자원인 곤충의 효능은 이미 동의보감에서 95종, 본초강목에서 106종 등이 보고되고 있으며 곤충은 기주식물 섭취 후 강한 태양광선, 다양한 미생물, 고온 다습한 기후 등 극한 외부 환경조건 하에서 생존하기 위해 체내에 고기능성 2차 대사산물을 함유하고 있을 것으로 추정되고 있으므로 곤충이 가지고 있는 인체에 유용한 성분을 활용하기 위한 연구들이 진행 중이다. 이에 식용곤충을 위주로 지금까지 연구된 내용들을 정리하여 소개하고자 한다.

갈색거저리를 이용한 기능성 연구는 갈색거저리 유충의 오일(oil)을 이용하여 항산화 활성 및 보습 활성을 평가하고 화장품 소재로 활용될 수 있음을 시사하였고(김혜옥, 2020), 급성 알코올에 의해 나타나는 간 손상 및 장내 산화 스트레스 및 장벽 손상을 억제하는 효과를 나타내었다(심예진 외, 2020). 이외에도 갈색거저리 유충 오일의 조골세포(MG-63) 분화에 미치는 영향을 조사한 결과 조골세포 분화가 촉진되는 것으로 확인되어 골 형성 촉진에 따른 골다공증 예방 및 치료 기능성 소재 개발에 대한 가능성을 확인하였다(서민철 외, 2019). 갈색거저리 유충 에탄올 추출물의 경우 파골세포(Raw264.7) 분화에 미치는 영향을 확인한 결과 MAPKs 중 p38의 신호전달 억제 기작을 통해 파골세포 분화가 억제됨을 알 수 있었다(서민철 외, 2020).

갈색거저리 유충 분말을 이용한 연구에서는 출아형효모(*Sacharomyces cerevisiae* M1)로 발효시킨 후 발효물을 이용하여 비 알코올성 지방간 유발 흰 쥐에 미치는 영향을 살펴본 결과 일반 갈색거저리를 급여하였을 때 일부 실험에서 수치가 개선되었고, 이를 효모로 발효시켰을 경우에 대부분의 지표들이 정상치에 가깝게 개선 효과를 나타내었다(심소연 외, 2020). 갈색거저리 유충 에탄올 추출물 및 분획물의 간암세포에 대한 세포독성 효능을 검정한 결과 갈색거저리 유충 추출물들이 단독으로 혹은 다른 세포독성 약물들과 함께 항암 활성을 갖는 것으로 확인되었다(이지은 외, 2015). 특히 헥산(hexane) 분획물의 경우 실험용 쥐를 이용한 이종이식 종양 모델에서 종양의 성장을 뚜렷하게 억제하는 것을 알 수 있었다. 항암 활성 이외에도 갈색거저리 유충 추출물의 인슐린 감수성 및 혈당개선효과를 조사한 결과 당뇨 동물모델에서 추출물의 섭취가 골격근 내로 당이 원활히 유입되도록 도와주어 인슐린 민감성을 개선시키며, 고혈당 증상을 개선시키는 것으로 사료되었다(김선영 외, 2019). 국내에서 식용곤충인 갈색거저리를 환자식에 도입하여 식용곤충의 환자식 적용에 대한 가능성을 검증한 연구가 진행된 바 있다(김성현 외, 2016). 연구를 통해 수술 후 입원기간 동안 갈색거저리 식사를 제공하여 열량 및 영양소의 섭취량 변화 및 영양상태 변화에서 의미 있는 결과가 도출되어 고단백 및 고영양 식품인 갈색거저리를 이용한 환자 식사의 도입에 대한 타당성이 확인되었다. 갈색거저리 유충 추출물의 모발 성장 촉진 효과를 조사한 연구에서는 추출물이 항산화 활성을 나타내었으며 사람의 모유두세포와 섬유아세포의 세포증식을 증가시켰으며, 모유두세포에서 DTH 처리에 의한 세포사가 갈색거저리 유충 추출물에 의해 억제되는 것을 확인하였다(백민희 외, 2017). 탈지한 갈색거저리 유충의 발효추출물을 이용하여 사염화탄소를 투여하여 간 손상을 일으킨 마우스의 혈액, 조직학적 변화 및 항산화 효소 활성에 미치는 영향을 조사한 연구에 따르면 발효추출물이 비발효추출물보다 사염화탄소로 인한 급성 간손상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(최라영, 2019). 갈색거저리 물 추출물에 대한 연구는 갈색거저리의 항산화, 항염증 활성에 대한 효과를 확인 한 결과 항산화 활성과 함께 염증 생성 기작에 작용하여 이 활성을 억제하는 효과를 나타내었다(유재모 외, 2016). 이외에도 갈색거저리 유충 단백질수분해물에 대한 연구들이 다수 보고되었다.

흰점박이꽃무지를 이용하여 기능성을 검정한 연구들로는 흰점박이꽃무지 유충의 에탄올 추출물을 이용하여 LPS에 의해 활성화된 미세아교세포(BV-2)에서 신경염증 억제 효과를 확인한 바 있다(이화정 외, 2019). 흰점박이꽃무지 유충의 에탄올 추출물은 미세아교세포에 대한 세포독성 없이 NO의 생성을 억제하였고, 염증매개 인자인 iNOS와 COX-2 뿐만 아니라 염증성 사이토카인들의 생성도 추출물 처리에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 염증뿐만 아니라 사염화탄소로 유발된 랫트(rat)의 간 손상에 대해 흰점박이꽃무지 유충 추출물의 간 보호기능을 조사한 결과 흰점박이꽃무지 유충 추출물에 의해 간세포 및 비장세포에서 사이토카인의 발현이 감소하였고 혈청 간기능 지표효소의 활성도가 감소하는 것으로 나타났다(이지숙 외, 2011). 또 다른 연구로는 사염화탄소에 의해 유발된 흰쥐의 간독성에 대하여 간보호 효과가 있는지를 확인한 연구에서도 흰점박이꽃무지 유충 추출물의 간보호 효과는 일차배양한 간세포와 간독성 흰쥐에서 여러 활성 지표를 통해 간독성 회복효과를 확인한 결과 흰점박이꽃무지 물추출이 농도 의존적으로 간독성 회복효과가 있음을 확인하였다(전정우 외, 2012). 흰점박이꽃무지 유충 추출물의 방사선 방호효과를 확인하기 위해 감마선을 이용하여 암컷 랫트에 조사(radiation)하고 흰점박이꽃무지 유충 추출물을 섭취시켜, 감마선만을 조사한 그룹과 비교한 결과 흰점박이꽃무지 유충 추출물을 섭취한 그룹이 방사선 조사만을 받은 그룹에 비하여 림프구, 적혈구 성분과 비장 지수의 감소가 완화되는 것을 알 수 있었다(정근우 외, 2021). 또한 흰점박이꽃무지 유충 추출물을 섭취한 그룹이 SOD 활성에서 항산화 활성을 나타내었고 이로 인해 자궁 및 난소에서 조직 손상이 완화되는 것으로 사료되었다. 암컷 랫트의 방사선 보호 효과뿐만 아니라 수컷 흰쥐의 혈구 및 전립선에 미치는 방사선 보호효과를 조사한 결과 흰점박이꽃무지 유충 추출물을 섭취한 군은 방사선 조사만 받은 군에 비해서 백혈구와 혈소판의 감소가 완화되었고 회복이 촉진되는 것으로 확인되었다(정근우 외, 2021). 마찬가지로 흰점박이꽃무지 유충 추출물을 섭취한 그룹이 SOD 활성에서 항산화 활성을 나타내었고 이로 인해 간과 전립선에서 세포의 손상이 완화되는 것으로 나타났다. 흰점박이꽃무지 유충의 항혈전 효능을 조사한 연구로는 에탄올 추출물로부터 분획화를 통해 인돌 알칼로이드

를 분리 정제하였고 시험관(*in vitro*)에서 혈전 생성과 활성을 억제하였으며 마우스를 이용한 동물실험에서도 정맥에 주사한 결과 혈전 생성과 크기를 감소시키는 항혈전 효능이 나타남을 확인할 수 있었다(Lee et al., 2017). 김치유래 유산균인 *Lactobacillus brevis*를 활용하여 흰점박이꽃무지 유충 열수추출물과 산양삼 분말과 함께 발효를 통해 발효물을 제조하고 세포독성 및 폴리페놀 함량을 분석한 결과 발효 초기에 비해 발효 48시간 이후 폴리페놀의 함량이 증가하였으며 항산화 활성의 경우 흰점박이꽃무지 유충 열수추출물이 60%였으나, 유산균을 이용한 발효물이 98%로 높아졌다(이영덕, 2018). 또한 항균 활성의 경우에도 유산균을 이용한 발효물에서만 항균 효과가 확인되었다. 흰점박이꽃무지 유충 분말을 이용하여 단백질가수분해물을 제조하고 항산화 활성을 확인하였는데 각 효소별(alcalase, bromelain, flavourzyme, neutrase, bromelain, papain) 단백질가수분해물의 DPPH 라디칼 소거활성은 neutrase 단백질가수분해물의 활성이 가장 우수하였고, ABTS 라디칼 소거활성과 과산화수소 소거활성은 alcalase 가수분해물이 우수한 항산화 활성을 나타내었다(이효선 외, 2017). 유용 미생물을 이용하여 흰점박이꽃무지 유충을 발효시킨 분말을 물, 에탄올, 메탄올로 추출하여 생리활성효과를 조사한 연구는 6종의 유용 미생물(유산균 3종, 곰팡이 1종, 효모 1종, 바실러스 1종)을 사용하여 발효균병이 분말 추출물의 유효성분(총 페놀 함량 및 플라보노이드 함량)과 생리 활성 효능(DPPH 자유 라디칼 소거 활성, 환원력 실험, 혈전용해능, α -amylase 활성)을 비교 검토한 결과 유용 미생물을 이용한 발효 균병이 추출물의 유용성분 및 생리활성이 강화되는 것을 확인하였다(심소연 외, 2018).

장수풍뎅이를 이용하여 기능성을 검정한 연구들로는 장수풍뎅이 유충의 열수추출물을 이용하여 항알레르기 및 항염증 효과를 확인한 연구에서 항알레르기 효능은 Compound 48/80에 의해 활성화된 비만세포(RBL-2H3)에 장수풍뎅이 유충 추출물을 처리한 결과 β -hexosaminidase, TNF- α , IL-4, COX-2의 발현을 효과적으로 감소시키는 것을 확인하였다(이화정 외, 2017). 또한 LPS에 의해 활성화된 대식세포(Raw264.7)에 장수풍뎅이 유충 추출물을 처리한 결과 nitric oxide와 IL-6의 분비량이 현저히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 추출물뿐만 아니라 장수풍뎅이 유충의 단백질가수분해물을 제조하여 항산화 활성을 확인한 결과 DPPH와 ABTS 라디칼 소거 활성과 함께 과산화수소 및 ROS 소거 활성을 나타냄으로써 항산화 활성 효과를 나타내었다(류희정 외, 2019). 장수풍뎅이 유충을 이용하여 렉틴(lectin)을 분리 정제하고 면역기능 증강 효과가 있는지를 확인한 연구에서는 정제된 렉틴을 말초 혈액 단핵세포(PBMC)에 처리한 결과 다양한 사이토카인들의 분비를 유도하는 것으로 나타났다(전경희 외, 2001). 장수풍뎅이 유충의 간보호 효능 및 항암 활성을 조사한 연구에서는 연구수행 결과 간 독성 물질(DEN)을 쥐에 복강 주사하여 간 독성 실험쥐 모델을 제작한 후 장수풍뎅이 유충 동결건조 분말을 경구투여하고 관찰한 결과 간 손상의 지표들이 유의미하게 감소하는 것을 알 수 있었다(이지은 외, 2015). 다음으로 유충분말 에탄올 추출물의 분획물을 이용하여 항암 활성을 확인한 결과 ethyl acetate 분획물이 암세포들에 대해서 아포토시스와 세포괴사와 같은 항암 활성을 나타내는 것으로 확인되었다. 항암 활성 이외에도 장수풍뎅이 유충의 메탄올 추출물을 이용하여 사염화탄소에 의해 유발된 마우스의 간 손상에 어떠한 영향을 미치는지 조사한 결과 저농도 추출물 투여군에서는 사염화탄소의 손상에 대한 변화가 나타나지 않았지만, 고농도의 추출물 투여군에서는 효능이 뛰어나지는 않지만 간 손상을 억제하는 것으로 나타났다(최용화 외, 2006). 그뿐만 아니라 장수풍뎅이 유충의 추출물을 이용하여 햄스터의 체장 β -세포(HIT-T15)에서 Streptozotocin에 의해 유발된 산화적 손상에 대해 보호효과 및 작용기작을 조사한 연구에서 Streptozotocin에 의해 유발된 지질과 산화 및 세포 내 자유산소종의 양은 장수풍뎅이 유충 추출물의 처리에 따라 농도 의존적으로 억제됨으로써 β -세포의 산화적 스트레스에 의한 손상을 보호하였다(김덕성 외, 2007). 또한 Streptozotocin에 의해 유발된 DNA 손상의 경우에도 장수풍뎅이 유충의 추출물 처리농도에 비례하여 DNA 손상이 감소하였다. 이러한 효과는 장수풍뎅이 유충의 추출물이 자체의 라디칼 소거능 및 산화적 손상에 의한 DNA 손상을 억제함으로써 Streptozotocin에 의해 유발된 산화적 손상을 억제하는 것으로 사료되었다.

쌍별귀뚜라미를 이용하여 기능성을 검정한 연구들로는 쌍별귀뚜라미 분말과 단백질 추출물을 이용하여 영양성분과 함께 아미노산 조성을 분석하고 DPPH 라디칼 소거능을 확인하여 항산화 활성이 우수함을 확

인하였다(김시현 외, 2020). 또한 동결건조된 쌍별귀뚜라미 분말을 이용하여 단백질 가수분해 효소를 처리하고 단백질가수분해물을 제조하여 과산화 억제 활성과 항산화 활성을 확인하였다(조혜린 외, 2019). 쌍별귀뚜라미의 단백질뿐만 아니라 물(water) 추출물의 경우 인슐린결핍 당뇨 마우스 모델에서 급여를 통해 확인한 결과 glucose 항상성의 저해를 유의적으로 개선함으로써 당뇨 유발을 억제하였고 췌도(islet)의 형태 및 인슐린분비 기능에 대한 보호 작용을 나타내는 것으로 확인되었다(조형택 외, 2019). 쌍별귀뚜라미 메탄올 추출물의 경우 인체 피부 섬유아세포에서 UVB에 대한 광노화 억제 효능을 확인한 결과 UVB 조사로 인한 세포 생존율의 감소가 추출물 처리에 따라 농도 의존적으로 증가하였으며 ROS의 생성량도 감소시켜 인체 피부 섬유아세포에서 UVB 조사로 인한 손상으로부터 보호 효과가 있음이 확인되었다(정택영 외, 2020). 또한 인체 피부 섬유아세포에서 UVB 조사로 인해 유도되는 MMP-1, MMP-3의 생성을 억제하고 세포 내 콜라겐의 생성을 증가시키는 것으로 확인되었다.

풀무치를 이용하여 기능성을 검정한 연구들로 풀무치 에탄올 추출물을 이용하여 MG-63 조골세포의 분화 촉진 효과를 확인한 연구는 풀무치추출물 처리 시 MG-63 조골세포의 세포증식 효과가 나타났으며 세포분화 관련 알칼리인산분해효소(ALP)의 활성을 확인한 결과 풀무치추출물 처리에 따라 ALP의 활성이 증가되어 분화가 촉진되는 것을 확인하였다(백민희 외, 2018). 관련 유전자의 발현량을 측정한 결과 Alpl과 Runx2의 유전자 및 단백질 발현에 의해 ALP의 활성이 증가되어 조골세포의 분화를 촉진하는 것으로 사료된다. 또한 풀무치 에탄올 추출물을 이용하여 RANKL에 의해 유도된 파골세포 분화에 대한 분화 억제 효과를 확인한 결과 RANKL에 의해 증가된 파골세포의 분화가 풀무치추출물과 함께 처리한 경우 파골세포 분화관련 유전자(TRAP, RANK, NFATc1 및 CK)의 발현이 현저하게 감소하는 것을 확인하였으며, 유전자뿐만 아니라 NFATc1, c-Src와 같은 분화 관련 단백질의 발현량도 풀무치추출물 처리에 따라 감소하는 것을 확인하였다(백민희 외, 2019). 또한 풀무치 에탄올 추출물의 경우 미세아교세포(BV-2)에서 LPS에 의해 유도되는 신경염증 반응에서도 항염증 활성을 보여주었다(이화정 외, 2018). LPS 처리에 따라 신경염증 지표인 NO의 생성과 이를 조절하는 iNOS, COX-2 및 전염증성사이토카인의 증가된 발현이 추출물을 처리함에 따라 농도 의존적으로 현저하게 억제되는 것을 확인하였다.

식용곤충 추출물과 단백질의 기능성 연구 이외에도 곤충 항균 펩타이드를 이용한 기능성 연구들과 동향을 살펴보면 1980년에 곤충의 항균 펩타이드인 세크로핀(cecropin)이 세크로피아누에나방의 번데기로부터 최초로 정제된 이래로 150개가 넘는 곤충 항균 펩타이드들이 확인되어오고 있다. 대부분의 곤충 항균 펩타이드들은 크기가 작으며 양전하를 띠고 염기성인데 박테리아나 진균류를 포함하여 기생충(parasite)과 바이러스에도 활성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 최근에는 차세대 시퀀싱 기술을 이용하여 곤충의 전사체 또는 유전체 분석을 통해 새로운 항균 펩타이드들을 선별하고자 하는 시도들이 있었다. 예를 들면 벼메뚜기의 면역화시키지 않은 개체와 대장균으로 면역화시킨 개체를 이용하여 RNA 시퀀싱을 통해 전사체를 분석하였고 전사체 분석 결과를 토대로 전사체 유래 생리활성 펩타이드들을 선별하였다(Kim IW et al, 2016). 선별한 항균 펩타이드들은 옥시아신(oxyasin)으로 명명하였으며 대장균과 포도상구균 및 칸디다 진균에 광범위한 항균 활성을 나타내었고 랫트의 적혈구를 이용한 용혈 활성에서 용혈 활성이 없는 것으로 확인되었다. 흰점박이꽃무지 유래 항균 펩타이드는 RNA 시퀀싱을 도입하기 전인 2006년에 흰점박이꽃무지 유충으로부터 cDNA 라이브러리 스크리닝을 통해 곤충 디펜신(defensin)을 처음으로 클로닝하고 프로테티아마이신(protoetiamycine)으로 명명하였다(Hwang JS et al, 2008). 프로테티아마이신의 mature form은 43개의 아미노산으로 구성되어있는데 그 중 아미노산 22번(Ala)부터 30번(Gly)까지의 9 잔기의 펩타이드를 template로 일부 아미노산의 치환을 통해 다양한 유도체(analog)들을 디자인하여 항염증 활성, 항진균활성, 항균활성 작용기작을 보고한 바 있다(Lee J et al, 2009, Shin S et al, 2009, Lee E et al, 2011). 이후 흰점박이꽃무지 유충의 면역화시키지 않은 개체와 대장균으로 면역화시킨 개체를 이용하여 RNA 시퀀싱을 통해 전사체를 분석하였고 전사체 분석 결과를 토대로 전사체 유래 생리활성 펩타이드들을 선별하였다. 선별한 항균 펩타이드 중 프로테티아마이신 2는 대장균과 포도상구균 및 칸디다 진균에 항균 활성을 나타내었고 랫트의 적혈구를 이용하여 용혈 활성을 확인한 결과 용혈 활성이 없는 것으로 확인되

었다(이준하 외, 2019). 항균 활성뿐만 아니라 마우스의 대식세포주인 Raw264.7 세포에서 LPS에 의해 유도되는 염증반응에 항염증 효과를 나타내었다. 또 다른 항균 펩타이드 프로테티아마이신 6는 마우스의 미세아교세포(BV-2)에서 LPS에 의해 유도되는 신경염증 반응에서도 항염증 활성을 보여주었다(이화정 외, 2020). 흰점박이꽃무지 유충의 경우 전사체뿐만 아니라 유전체 염기서열을 해독하여 유전체를 분석하였고(Lee JH et al, 2021) 유전체유래 생리활성 항균 펩타이드들을 추가로 선별하였다. 선별한 항균 펩타이드들 중 프로테티아마이신 7, 8, 9, 10, 11의 항균 활성 또는 항염증 활성과 관련하여 특허가 출원되었고 프로테티아마이신 9이 대식세포주인 Raw264.7 세포에서 LPS에 의해 유도되는 염증반응에 탁월한 항염증 효과를 나타내었다. 장수풍뎅이의 경우는 장수풍뎅이 유충의 면역화시키지 않은 개체와 대장균으로 면역화시킨 개체를 이용하여 RNA 시퀀싱을 통해 전사체를 분석하였고 전사체 분석 결과를 토대로 전사체 유래 생리활성 펩타이드들을 선별하였다. 선별한 항균 펩타이드들은 대장균과 포도상구균 및 칸디다 진균에 광범위한 항균 활성을 나타내었으며 랫트의 적혈구를 이용한 용혈 활성에서 용혈 활성이 없는 것으로 확인되었다. 선별한 항균 펩타이드 중 알로미리나신은 항균 활성뿐만 아니라 마우스의 대식세포주인 Raw264.7 세포에서 LPS에 의해 유도되는 염증반응에서 알로미리나신을 처리함에 따라 NO의 생성을 감소시켰으며 염증관련 인자인 iNOS와 COX-2의 발현도 농도 의존적으로 감소시키는 것을 확인하였다. 또한 LPS에 의해 증가되는 전염증성 사이토카인의 경우에도 알로미리나신을 처리함에 따라 농도 의존적으로 발현이 감소함을 확인하여 항염증 효과를 나타내었다(Lee JH et al, 2019). 또한 아메리카왕거저리 유충의 면역화시키지 않은 개체와 미생물로 면역화시킨 개체를 이용하여 RNA 시퀀싱을 통해 전사체를 분석하였고 전사체 분석 결과를 토대로 전사체 유래 생리활성 펩타이드들을 선별하였다(Lee JH et al, 2021). 선별한 항균 펩타이드들은 대장균과 포도상구균 및 칸디다 진균에 광범위한 항균 활성을 나타내었으며 랫트의 적혈구를 이용한 용혈 활성에서 용혈 활성이 없는 것으로 확인되었다. 선별한 항균 펩타이드 중 조포바신 1은 항균 활성뿐만 아니라 마우스의 대식세포주인 Raw264.7 세포에서 LPS에 의해 유도되는 염증반응에서 조포바신 1을 처리함에 따라 NO의 생성을 감소시켰으며 염증관련 인자인 iNOS와 COX-2의 발현도 농도 의존적으로 감소시키는 것을 확인하였다. 또한 LPS에 의해 증가되는 전염증성 사이토카인의 경우에도 조포바신 1을 처리함에 따라 농도 의존적으로 발현이 감소함을 확인하여 항염증 효과를 나타내었다(신용표 외, 2020). 끝으로 풀무치의 면역화시키지 않은 개체와 미생물로 면역화시킨 개체를 이용하여 RNA 시퀀싱을 통해 전사체를 분석하였고 전사체 분석 결과를 토대로 전사체 유래 생리활성 펩타이드들을 선별하였다(Lee JH et al, 2021). 선별한 항균 펩타이드들은 대장균과 포도상구균 및 칸디다 진균에 광범위한 항균 활성을 나타내었으며 랫트의 적혈구를 이용한 용혈 활성에서 용혈 활성이 없는 것으로 확인되었다. 선별한 항균 펩타이드 중 로커스타신 1은 항균 활성뿐만 아니라 마우스의 대식세포주인 Raw264.7 세포에서 LPS에 의해 유도되는 염증반응에서 로커스타신 1을 처리함에 따라 NO의 생성을 감소시켰으며 염증관련 인자인 iNOS와 COX-2의 발현도 농도 의존적으로 감소시키는 것을 확인하였다. 또한 LPS에 의해 증가되는 전염증성 사이토카인의 경우에도 로커스타신 1을 처리함에 따라 농도 의존적으로 발현이 감소함을 확인하여 항염증 효과를 나타내었다.

2.4. 식용곤충 유래 대체 단백질 개발

식용곤충을 이용한 대체 단백질의 국내외 동향 분석을 살펴보면 대체 단백질의 필요성으로 인간의 평균 수명이 늘어남에 따라 세계 인구는 점점 증가하고 있으며 UN에서 발간한 세계 인구 전망 보고서에 따르면, 세계 인류는 2017년 7월 기준 75억 5천만 명에서 2050년에는 98억 명으로 매년 0.6% 증가할 것으로 예측된다(그림 19). 늘어나는 인구만큼 안정된 식량 공급이 필수적이지만 지구 온난화와 이상기후로 인한 작물 수확량의 감소와 함께 사료 곡물의 수요 증가로 생산비 상승을 가져와 생산 면적이 감소할 것으로 전망되고 있다. 따라서 미래의 새로운 식품 자원 개발이 절실하다(이정민 외, 2018).

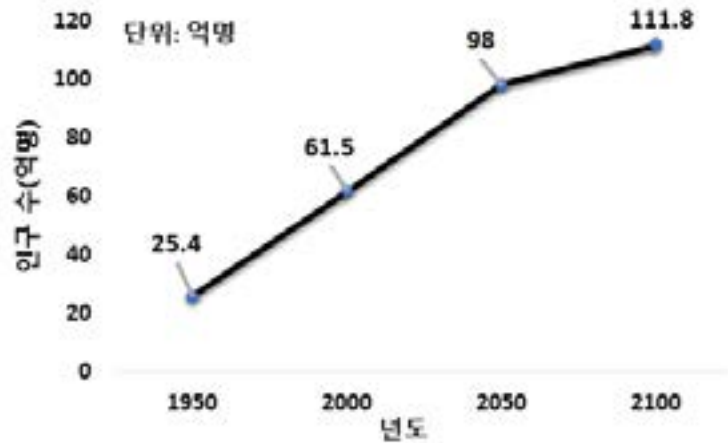


그림 19. 세계 인구 전망

출처: UN 세계인구전망보고서

단백질의 섭취는 인간의 성장, 유지에 반드시 필요하다. 이는 주로 육류를 통해 이루어지는데 지속적인 인구증가에 따른 육류 소비의 증가는 2018년 304만 톤에서 매년 1.3%씩 증가하여 2050년에는 455만 톤에 이를 것으로 전망된다(그림 20). 하지만 전통적인 축산물 생산 방식으로는 한계가 있으며 부족한 단백질 수요는 대체 축산물로 전환할 필요가 있다. 따라서 육류를 대체 할 수 있는 대체 단백질의 연구가 활발히 진행되고 있으며 식물성 대체 소재를 이용한 육류 대체식품, 배양 기술을 이용한 대체 배양육, 기타 식용 곤충류 등이 미래 대체 단백질 식품으로 꼽히고 있다(이정민 외, 2018; 최정석, 2019).

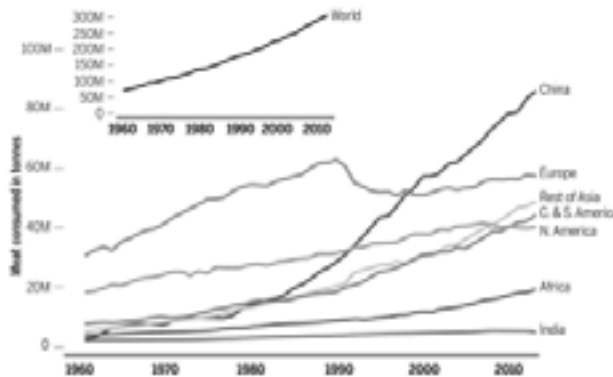


그림 20. 육류 소비량

출처: 최정석, 2019, 대체 단백질, 배양육 소재의 최신 연구

식용곤충 산업 동향을 살펴보면 식용곤충은 미래 식량부족 문제 및 환경문제의 대안으로 대두되고 있으며 그에 따른 다양한 산업에 대한 관심이 높아지는 추세이다. 글로벌 마켓 인사이트(global market insight)에 따르면 세계 곤충산업 규모는 2026년 약 15억 달러를 형성할 것으로 예측되며 관련 산업 또한 큰 폭으로 성장할 것이라고 전망하였다. 현재 영국, 벨기에, 네덜란드, 스위스, 핀란드, 오스트리아, 덴마크 등이 식용곤충의 상용화가 활발히 이루어지고 있으며 환경문제와 더불어 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 북미에서의 식용곤충 산업도 2018년 4,400만 달러에서 2023년 약 1억 5,400만 달러로 증가할 것이라고 예측하고 있다. 식용곤충의 주 소비층인 아시아·태평양의 경우, 2015년 1,200만 달러의 곤충 식장을 확보하고 있으며, 태국의 경우 2만개 이상의 농가에서 7,500톤/년의 생산량을 유지하고 있다. 중국은 갈색거저리 및 아메리카왕거저리를 50톤/월의 생산량을 확보하여 전 세계에 약 200톤을 수출하고 있다. 이처럼 식용곤충은 기존의 식품을 대체할 수 있는 소재로 평가받고 있으며 현재도 다양하게 소비되고 있다(김태경 외, 2020).

식용곤충의 장점으로는 사료의 이용률이 높고, 사육 기간 동안 가축에 비해 낮은 온실가스 및 암모니아를 방출하며, 물소비량도 적고, 사육 시설의 공간이 적게 필요하며, 노동 강도가 낮은 편이다. 또한 다른 가축들에 비하여 높은 사료효율, 빠른 생활사, 낮은 폐기율 등과 같은 많은 환경친화적이며 지속 가능한 특성을 가지고 있다(김수희, 2017).

표 3. 육류 및 식용곤충의 장단점 비교표

구분	기존 육류	식용곤충
생산방법	사육 후 도축	건조 및 분말화
대량생산 가능성	높지만 한계 있음	높음
생산비	상승 중	하락 중
자원 사용량	높음	매우 낮음
온실가스 배출량	높음	매우 낮음
건강 효과	변화 없음	단백질 증가 지방 감소
안전성	변화 없음	검증 진행 중(알레르기 등)
소비자 기호도	수요 증가	곤충 거부감
한계점	미래 식육 수요 충족 불가	소비자 거부감, 안전성 검증 필요

출처: 박미성 외, 2020, 대체식품 현황과 대응과제

식용곤충 가공 기술 개발 동향을 살펴보면 소비자로부터 식용곤충의 부정적인 영향, 거부감을 줄이고 영양분 및 기능성을 유지하는 연구가 진행됨에 따라 식용곤충의 가공 기술은 꾸준히 발전해 왔다. 식용곤충을 섭취하기 위한 가공 기술로 크게 원재료 가공, 단백질 가공, 오일 가공 기술의 3가지 기술이 활용되고 있다. 원재료 가공 기술이란 원물인 곤충을 건조, 분말화하여 식품에 적용하는 기술로써 현재 가장 많이 이용되고 있는 기술이다. 원재료 가공 기술을 적용했을 때 제품의 부피가 작아 운반이 쉬울 뿐 아니라 장기 보관이 가능하며 식품에 적용하기 쉬운 장점이 있다. 단백질 및 오일 가공 기술은 식용곤충의 영양적인 장점을 살리고 외형에서 오는 부정적 영향을 감소시킬 수 있다. 현재는 기술 초기 단계로 이를 통한 다양한 기술 및 제품의 연구가 진행 중이다(윤성용 외 2021; 이현정 외, 2019).



그림 21. 식용곤충 가공기술

출처: 윤성용 외, 2021, 대체육

식용곤충 이용 현황은 현재 다양한 기업들이 식용곤충을 활용한 연구를 진행하고 있다. 미국은 식용곤충을 원료로 에너지바, 스낵, 쿠키 등을 제조하고 마트, 푸드트럭, 레스토랑 등을 통해 공급이 이뤄지고 있다. 귀뚜라미 식품 전문 기업인 차풀(Chapul)은 단백질 파우더 및 에너지바를 생산하고 있으며 생산된 귀뚜라미 파우더를 이용한 레시피를 제공하고 있다. Aspire food group은 귀뚜라미를 활용한 에너지바를 제조 판매하는 엑소(EXO)를 인수하고 그와 관련된 다양한 귀뚜라미 제품을 개발하고 있다. Entomo farms 역시 다양한 귀뚜라미 파우더 및 원물을 제공하고 있다. 식스푸드, 비티푸드는 귀뚜라미 스낵 및 쿠키를 생산하는

것으로 알려져 있으며 특히 식스푸드(chirps)는 곤충의 단백질을 분리하여 조직 곤충 단백을 제조하여 곤충 가공 기술을 개발 중이며 관련 프로틴 파우더를 개발 판매중이다(류정표, 2017; 박미성 외 2019).



그림 22. 식용곤충을 활용한 단백질 제품(미국)

출처: 홈페이지

유럽은 이더블 유니크가 대표적인 식용곤충 기업이며 프랑스 스타트업 기업인 잉섹트는 갈색거저리를 대량 양식해 고단백 대체식품 제조하는 회사로 최근 로봇 도입을 통한 완전 자동화 사육 기술을 개발 중이며 10건의 펀딩으로 4억 2500만 달러 투자금을 유치한 것으로 알려져 있다. Essento는 건조된 귀뚜라미, 갈색거저리, 메뚜기를 판매중이며 곤충 관련 요리책을 출시하였다. 또한 곤충 이용 패티를 제조하고 이를 유럽의 마트 및 레스토랑에 판매하고 있다. 곤충 가공 기업인 Bugfoundation은 외미거저리를 활용한 곤충 패티를 제조하고 있으며 이를 네덜란드, 벨기에 등 유럽에 유통 보급하고 있다. 버그 그룹에서는 식용곤충을 제공하는 레스토랑을 운영 중이며 폴란드의 하이프로마인, 네덜란드의 프로티팜은 곤충 단백질의 분리 정제 기술을 개발 중이다. 스웨덴의 가구 전문점 이케아에서는 스페이스10 이라는 프로젝트를 통해 곤충으로 만든 버거를 실험 중에 있으며 딱정벌레 유충으로 만든 버거와 미트볼 조리법을 비롯한 미래형 음식 조리법 20가지를 담은 요리책을 출간하였다. 호주의 이더블 버그 샵은 귀뚜라미, 갈색거저리 단백질 파우더 및 스낵을 제조 판매하고 있다. 식용곤충을 주로 소비하는 아시아권 국가 중 태국은 식용곤충 및 제품을 가장 다양하게 제공하고 있다. 대표적으로 하이소는 귀뚜라미, 누에 번데기 분말 유통 및 곤충 스낵을 판매중이다(류정표, 2017).



그림 23. 이케아 곤충 제품(스페이스 10)

		
Essento(스위스)	Bugfoundation(독일)	이더블 버그 샵(호주)

그림 24. 식용곤충을 활용한 단백질 제품(유럽)

출처: 홈페이지

국내에서는 전남농업기술원에서 식용곤충을 활용한 햄버거 패티를 개발하고 식용곤충을 활용한 간편 대체육 레시피를 개발, 보급하고 있으며 wellbug에서는 파우치형 단백질 보충제를 연구 개발하고 있다. 퓨처푸드랩에서는 갈색거저리, 귀뚜라미를 활용한 에너지바, 단백질보충제, 씨리얼 등을 개발 판매중이다. 이처럼 전세계에서 곤충의 식용화를 위한 준비를 진행하고 있으며 현재 대체단백질이 화두에 오른 만큼 곤충의 단백질 소재화 산업의 활성화는 꾸준히 진행될 것이다.

		
전남농업기술원 (갈색거저리 패티)	Wellbug (곤충 활용 단백질 보충제)	퓨처푸드랩 (곤충 활용 단백질 보충제)

그림 25. 식용곤충을 활용한 단백질 제품(국내)

출처: 홈페이지

대체단백질 3D 푸드프린트 활용 기술 현황을 살펴보면 최근 제조업과 정보통신기술, 첨단과학기술등의 융복합을 통한 4차 산업 혁명이 화두로 떠오르고 있다. 식품산업 또한 이 흐름에 맞춰 사물인터넷, 빅데이터, 3D 프린터 등의 제품 및 서비스가 등장함에 따라 식품의 생산, 유통에 큰 변화가 예상된다. 그 중 3D 프린팅 기술은 신성장 산업으로써 발전 가능성이 높다고 평가되고 있다. 따라서 세계 3D 푸드 프린팅 시장은 점차 증가하는 추세이다. 시장 규모는 2016년 기준 약 60억 달러로 추산되며 2023년까지 약 200억 달러 규모로 성장할 것으로 전망된다. 나라별 시장점유율은 미국이 39%로 가장 높으며 우리나라는 약 2% 정도로 추산된다. 현재 우리나라의 3D 프린팅 기술 개발 수준은 초기 단계로 연구 및 시제품정도만 활용되고 있으며 국내 법령에 따르면 3D 푸드 프린터로 제조된 제품은 식품위생법상 식품생산 및 판매 허가를 받기 어려운 환경이기 때문에 상업적으로 출시 및 활용되는 사례는 거의 없는 실정이다(김민정 외, 2020).

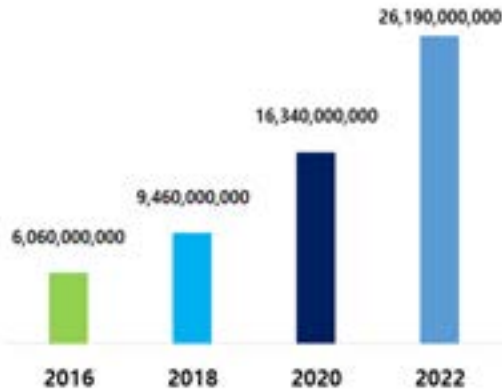


그림 26. 세계 3D 프린팅 시장



그림 27. 3D 프린팅 시장 점유율

출처: 김민정 외 2020, 식품 3D 프린팅기술과 3D 프린팅식품 소재

식품 제작에 사용되는 3D 프린팅 기술은 3D 프린트로 원재료들을 조합하여 다양한 3차 구조, 빛깔, 향 등을 만들어 내는 기술로써 식품 제작에 사용되는 3D 푸드 프린팅 기술은 FDM, SLS, CJP 3가지 기술이 대표적으로 사용된다. 먼저 FDM (Fused Deposition Modeling) 기술은 압출방식의 일종이며, 고온과 고압으로 재료를 작은 구멍으로 밀어내서 한 층씩 쌓는 방식으로 식품의 경우 초콜릿이나 반죽처럼 점성이 있는 식재료를 출력하는 방식에 사용된다. SLS (Selective Laser Sintering) 기술은 분말가루 형태의 원료를 얇게 적층하고 그 위에 레이저 혹은 수지를 분사하여 굳혀가면서 적층시키는 방식이며 식품의 경우에는 설탕, 전분 등 분말원료가 이용되며 인공색소, 향 등의 식품첨가제를 더함으로써 다양한 색과 맛의 출력물을 만들어 낼 수 있다. CJP (Color Jet Printing) 기술은 식용 가능한 식품 분말이나 액체를 분사하는 방식으로 2D 잉크젯 프린터와 유사한 작동 원리와 해상도를 구현할 수 있으며 식품 재료의 경우에는 파우더 상태의 식용재료와 액체상태의 식용점착제가 이용된다. 현재 파우더 상태의 재료로 설탕파우더, 설탕과 녹말의 혼합 파우더 등이 이용되며 액체 상태의 식용 점착제로는 다양한 색상과 맛을 지닌 점착제가 개발되고 있다. CJP방식은 일반적으로 낮은 점도의 재료를 다루기 때문에 표면을 채우는 방식으로 이용되거나 이미지 장식 분야에서 주로 사용된다(박현진 외, 2017).

3D 푸드 프린팅 제품을 살펴보면 3D 프린팅 기술은 2006년 미국 코넬대학교 호드립슨 교수 연구실에서 초콜릿, 쿠키, 치즈를 원료로 하는 최초의 3D 식품 프린팅이 진행된 이래 다양한 방법과 원료를 활용하여 제품을 개발하고 있다. 네덜란드의 응용과학기술연구소(TNO)는 이탈리아 식품회사와 제휴를 맺고 다양한 모양, 형태의 파스타를 만들 수 있는 3D 프린터를 개발하였다. 미국의 3D 시스템즈사는 최근 초콜릿 제조회사인 허쉬(Hershey's)와 협력해 용융 압출방식의 코코젯(Cocojet)을 개발하고 베이커리 업체를 대상으로 출시를 준비 중인 것으로 알려져 있다(박현진 외, 2017). 스페인의 바르셀로나의 스타트업 회사인 네추럴머신스(Natural Machines)는 단순 압출 방식의 3D 식품 프린터인 푸디니(Foodini)를 개발하고 현재까지 파스타, 쿠키, 햄버거, 피자 등 다양한 종류의 식품 개발에 주력하고 있다.



그림 28. 3D 식품 프린터(좌:코코젯, 우:푸디니)

독일의 보쿠시니(Bocusini)는 가열된 프린터 헤드에 재료를 밀어 넣는 방식의 3D 식품 프린터용 카트리지를 개발 운영하고 있으며, 독일의 식품회사 바이오존(Biozoon)은 EU에서 연구비(300만 유로)를 지원받아 고령자가 쉽게 씹을 수 있으면서 시각적으로도 아름다운 고령친화식품을 개발하였다(박미성 외, 2019).



그림 29. 3D 푸드 프린터 및 제품

출처: 홈페이지

리디파인미트(Redefine Meat)는 3D 푸드 프린터를 활용한 스테이크, 소시지 등을 개발 판매 하고 있다. 노바미트(Novameat)의 경우 3D 푸드 프린터를 활용한 대체육을 제조 및 판매하고 있으며 특히 대체육을 뽑아내는 3D 프린터와 캡슐형 재료를 패키지로 묶어 판매하는 것이 특징이다. 세이버이트(SavorEat)는 3D 푸드프린트를 활용한 버거를 판매하고 있으며 전 세계 치킨으로 유명한 케이에프시(KFC)는 3D 푸드 프린트를 활용한 너겟 형태의 닭고기 대체육 개발 중에 있다. 아시아에서의 현황은 아직 까지 미미하지만 현재 대만의 3D 프린터 회사인 XYZ printing 사는 2015년 CES에서 3가지 성분의 식재료와 노즐 크기를 조절할 수 있는 3D 식품 프린터를 시연, 상품 출시를 발표하였으며, 일본의 Open Meals은 최근 초밥을 만드는 3D 프린터 시제품을 공개하였다(박미성 외, 2019).



그림 30. 3D 푸드 프린터를 활용한 대체육 제조회사 및 제품

출처: 홈페이지

또한 3D 프린트로 제조한 음식을 판매하는 식당도 생겨났다. 푸드링크는 3D 프린터 제조업체와 협력하여 만든 레스토랑으로 3D 프린트로 음식을 만들면 요리사가 음식의 완성도를 높여 소비자에게 제공하는 방식으로 운영되고 있다. 미술랭 레스토랑 중 하나인 라에노테카는 3D 프린터인 푸디니를 이용한 요리를 제공하고 있다. 이처럼 3D 푸드 프린팅 기술이 식품 제조 및 가공에 다양하게 활용되고 있으나 곤충을 활용한 제품은 아직 개발단계에 머물러 있는 실정이다. 이에 앞으로도 3D 프린팅에 대한 다양한 기술 개발이 요구된다.

표 4. 세계 3D 식품 프린터 개발 회사

회사	주요 개발 내용
Choc Edge	3D 식용 초콜릿 모델 생산
The Hershey Company	3D systems와 협업하여 초콜릿 3D 프린트 개발
WASP	초콜릿 프린팅 프린터 개발
Print2Taste	WLAN으로 연결된 컴퓨터를 갖춘 3D프린터 개발, 제품별 카트리지 제공
Natural Machines	internet of things(IoT)기술이 접목된 3D 식품 프린터 개발
XYZ Printing	쿠키, 케익을 인쇄할 수 있는 최초의 3D프린터 개발
Open Meals	초밥을 제작할 수 있는 3D 식품 프린터 개발

출처: 박미성 외, 2019, 식품산업의 푸드테크 적용 실태와 과제

단세포 단백질 활용 기술 현황을 살펴보면 단세포 단백질 이란 세균, 효모, 사상균, 방선균, 곰팡이, 조류 등의 미생물을 대량 배양하여 균체로부터 추출한 단백질로써 사료첨가물이나 식품첨가물 등으로 사용이 가능하다. 대표적 연구기업으로는 핀란드의 솔라푸드, 미국의 키버디, 영국의 퀴, 딥프렌치 등이 있으며 현재 단세포 단백질을 생산 판매하고 있다. 핀란드 회사인 솔라푸드는 자체 개발한 솔레인 프로세스를 통해 물에 전기를 가해 이산화탄소와 수소를 배출시키고 이를 미생물을 활용하여 단세포 단백질(솔레인)을 생산하고 이를 단백질 드링크 등 다양한 제품에 활용하고 있다. 2018년에 영국에서 설립된 딥브렌치는 이산화탄소를 활용하여 단백질을 제조하는 회사로서 산업용 폐기물에서 발생하는 이산화탄소를 이용해 동물용 단백질을 생산하고 있으며 이를 닭과 양식어분 사료로 사용하고 있다. 기존 양식어 사료 '어분'과 비교해 영양학적으로 손색이 없으며 생산과정에서 발생하는 CO₂ 배출량은 90% 가량 적다고 알려져 있다.



그림 31. 단세포 단백질 생산 과정 및 제품

출처: 홈페이지

미국의 키버디사는 에어프로테인이라고 일컬어지는 단세포 단백질을 생산하는 대표적인 회사이다. 제조 방법으로는 이산화탄소로부터 아미노산을 생산하는 수소산화세균을 활용하여 대기를 이루는 이산화탄소 산소 질소 등을 활용하여 동물성 단백질과 동일한 아미노산 조성을 가진 단백질을 생산하며 이를 다양한 식품 첨가제로 활용하고 있다.



그림 32. 에어프로테인 제조 과정 및 제품(키버디)

출처: 홈페이지

영국의 쿼른은 단세포 단백질을 활용하여 대체육을 생산하는 대표적인 회사로 마이코프로테인곰팡이 (*Fusarium graminearum*)를 이용하여 전분 부산물로부터 유래된 단백질을 대체육 소재로 활용하는 기술을 갖고 있으며 이 곰팡이에서 유래한 단백질은 실처럼 가느다란 조직 구성이 닭가슴살과 유사해 고기와 같은 식감으로 평가받고 있다. 쿼른은 영국에서 가장 큰 소비자 브랜드로 1985년 설립된 이후 마이코프로테인 기반 너겟, 소시지, 패티 등 140여 종의 다양한 대체 가공 상품 포트폴리오를 구축해 유럽, 미국, 호주 등 20여 개국에 진출하고 있다(정종연 외, 2018).



그림 33. 마이코프로테인을 활용한 대체육 개발(쿼른)

출처: 홈페이지

3. 식용곤충 이용 과제발굴

3.1. 식용곤충 이용 가정간편식(HMR) 및 밀키트 제형과 제품 개발

코로나19 장기화로 인해 가정간편식(HMR)과 밀키트 시장이 주목을 받으면서 급성장하고 있다. 한국농수산식품유통공사(aT)에 따르면 국내 가정간편식 시장 규모는 2016년 2조2700억원에서 2020년 4조원으로 4년 사이 76% 성장했으며 오는 2022년에는 시장규모가 5조 원에 이를 것으로 예상된다(그림 28). 국내 밀키트 시장은 농촌경제연구원에 따르면 2017년에 100억 원에 불과했지만, 2020년에는 2000억 원으로 늘어난 데 이어 2021년은 3000억 원 규모로 확대될 전망이다. 오는 2024년에는 7000억 원으로 시장의 성장세를 예측하였다(그림 28). 밀키트는 요리에 필요한 손질된 식재료, 양념과 소스가 조리법과 함께 구성되어 제공하는 제품으로 이미 조리되어 데우기만 하면 되는 가정간편식(HMR)과는 달리, 직접 조리를 해야 한다. 국내 가정간편식 주요 기업으로는 CJ제일제당, 오투기, 동원F&B, 대상, 풀무원, 농심 등이 있으며 밀키트의 주요브랜드로는 프레시지(fresheasy), CJ제일제당 ‘쿡킷’, hy(한국야쿠르트) ‘잇츠온’ 등이 있다. 밀키트에 대한 수요가 빠르게 늘어나면서 국내 밀키트 업체들은 해외시장에도 진출을 하고 있다. 프레시지 같은 경우 최근 홍콩에 한식 메뉴를 포함하여 밀키트 31종을 수출하기도 했다. 이러한 변화와 새로운 흐름에 발맞추어 식용곤충을 이용한 저장 및 가공에 대한 다양한 연구를 통해 가정간편식과 밀키트를 위한 제형과 제품에 대한 개발이 필요할 것으로 사료된다. 아직은 곤충 식품에 대한 인식개선이 우선되어야 하지만 미래 식량으로서 건강기능식품으로 가능성이 인정되고 인식이 전환된다면 가정간편식과 밀키트 시장에 도전장을 내밀 수 있을 것으로 예상된다. 가정간편식과 밀키트 이외에도 추가적인 연구를 통해 식용곤충을 이용한 전투식량, 우주식 등 다방면으로 곤충 식품이 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

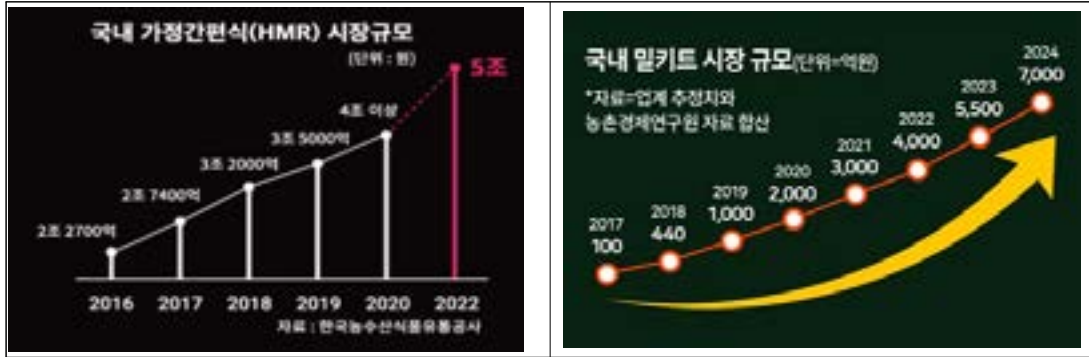


그림 34. 국내 가정간편식(HMR)과 밀키트 시장 규모

출처: 한국농수산물유통공사, 농촌경제연구원

3.2. 식용곤충 함유한 고단백 영양보충제 및 영양액 개발

최근 코로나19의 영향으로 바깥 활동이 제한되자 홈트, 홈집 등 집에서 운동을 즐기고 건강과 체력을 관리하는 트렌드가 확산되고 있다. 일명 덤벨경제라고 칭하는 산업으로 그 성장세가 급격히 증가하고 있다. 기존에는 건강에 관심이 많은 40~60대가 덤벨경제의 확산을 이끌었지만 최근에는 밀레니얼 세대(MZ세대)의 유입이 두드러지며 그 성장이 더욱 탄력을 받고 있으며 운동뿐 아니라 운동기구, 스포츠웨어 등과 관련된 산업에 관심이 높아지고 있고 특히 운동 전후 에너지 보충하기 위해 찾는 ‘단백질’ 제품이 주목받으면서 수요가 커지고 있다. 글로벌 시장조사기관 글로벌인사이드리포트에 따르면 지난 2017년 기준 세계 단백질 식품시장규모는 약 13조원으로, 연평균 12.3%의 성장세를 보이고 있다. 2025년에는 32조 8800억 원에 이를 것으로 전망된다. 주로 해외 직구를 통해 들어온 수입산 단백질 보충제가 태반이었던 시장에 매일유업, 한국야쿠르트, 남양유업, 일동후디스, 푸르밀 등 음료업체들이 잇따라 진출하면서 새로운 블루오션으로 자리 잡고 있다.

곤충은 필수아미노산 조성이 우수한 양질의 단백질 함량이 높을 뿐 아니라 지방의 경우 불포화지방산 함량이 육류에 비해 상당히 높고, 곤충 표피의 키틴질로부터 유래 되는 식이성섬유, 칼슘이나 철과 같은 무기질 함량과 비타민에 이르기까지 곤충의 영양 기능적 가치는 매우 우수하기 때문에 다양한 영양보충제 및 영양액 개발이 가능할 것으로 사료된다.(박성권 외, 2018)

3.3. 식용곤충 유래 노인성 만성질환 개선 제품의 개발 및 활용

최근 급격히 진행되는 인구 고령화에 따라 노인인구의 보건 문제가 가장 중요한 정책과제 중 하나로 대두되고 있으며, 그 중 노인성 만성질환(혈액순환, 고지혈증, 고혈압, 당뇨 등) 복합 유병률이 68.3%로 복합 만성질환에 대한 처방약을 복용하는 노인이 84%에 달하고 있다.

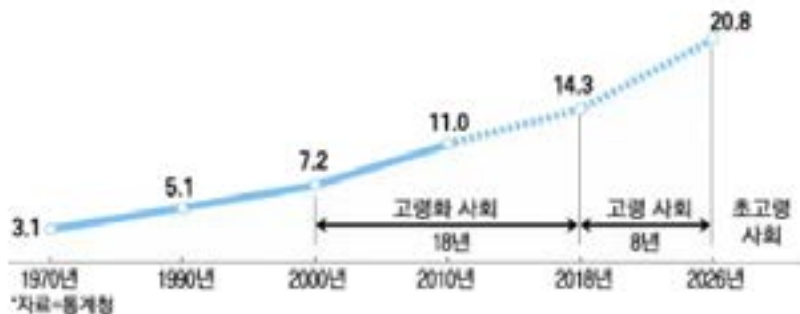


그림 35. 65세 이상 인구 비율의 변화

* 65세 이상 인구 비율의 변화 : 3.8%(1980) → 5.1%(1990) → 7.2%(2000) → 11.0%(2010) → 14.0%(2018) → 20.8%(2026)로 예상

노인성 복합 만성질환을 가진 환자는 여러 처방약을 함께 복용하기 때문에 처방약 간의 상호작용에 따른 부작용 발생 위험이 높아 각별한 복약지도와 관리가 요구된다. 또한 질환에 의해 삶의 질이 저하될 뿐 아니라 개인과 국가의 의료비가 증가된다. 따라서, 만성질환자 및 고령인구 증가로 요양서비스 등 사회적 비용의 증가가 예상된다. 사회의 급격한 고령화로 인해 노인 맞춤형 기능성 식품에 대한 연구의 필요성이 증대하고 있으며, 안전한 식품 소재를 통해 노인의 복합 만성질환의 예방 및 완화가 사회적으로 필요한 실정이다(농식품부, 2017).

곤충(외미거저리) 단백질은 소화와 흡수, 근육 생산을 자극하는 능력에서 육류단백질보다 우수하고 우유 단백질과 비슷한 수준을 보였으며, 인체에서 소화 또한 용이하였다(Hermans et al, 2021).

또한, 본문에서 언급했던 것처럼 곤충은 인체에 유용한 기능성(항산화, 항염증, 혈액순환 개선, 항비만, 인지능 개선 등)을 가지고 있어 고령친화식품 특히, 만성질환을 가진 노인들을 위한 맞춤형 식품으로 활용 가능하다.

3.4. 3D 푸드 프린팅을 활용한 대체육 개발

본문 내용으로 본 바와 같이 곤충은 다양한 식품 소스로 활용되고 있으나 아무리 영양가가 높고 안전하게 가공되었다 하더라도 곤충의 형태 그대로 식품으로 섭취하기는 쉽지 않다. 따라서 식용으로 사육된 곤충의 다양한 가공 방법이 연구되고 있는데 특히 푸드테크 기반 3D 프린터 재료로 활용하여 식용에 적합한 디자인으로 재가공하는 방법이 관심을 받고 있다. 이에 농촌진흥청은 고려대와의 협업을 통해 3D 푸드 프린팅 기술을 활용하여 곤충 소재 대체육 기술을 개발 중이다. 소고기, 돼지고기 함유량을 줄이고 곤충 단백질을 포함시켜 3D 프린팅한 육류 제품과 육류를 제외하고 콩과 같은 식물 단백질과 곤충을 혼합하여 소고기, 돼지고기와 같은 식감과 향을 낼 수 있는 3D 프린팅 대체육 제품, 곤충을 활용한 대체 닭가슴살, 곤충 소시지 등을 연구, 개발하고 있다.

현재 대체단백질과 3D 푸드 프린팅은 국내외 시장의 전망이 밝은 편이고 공공성 측면도 강한 편이어서 정책 지원이 필요한 반면, 시장 전망에 비해 국내 기술 수준은 아직 낮은 수준에 머물러있다. 따라서 3D 푸드 프린팅산업의 기술 기반 산업화가 중요하며 이를 뒷받침 할 수 있는 정책 지원 역시 요구된다.

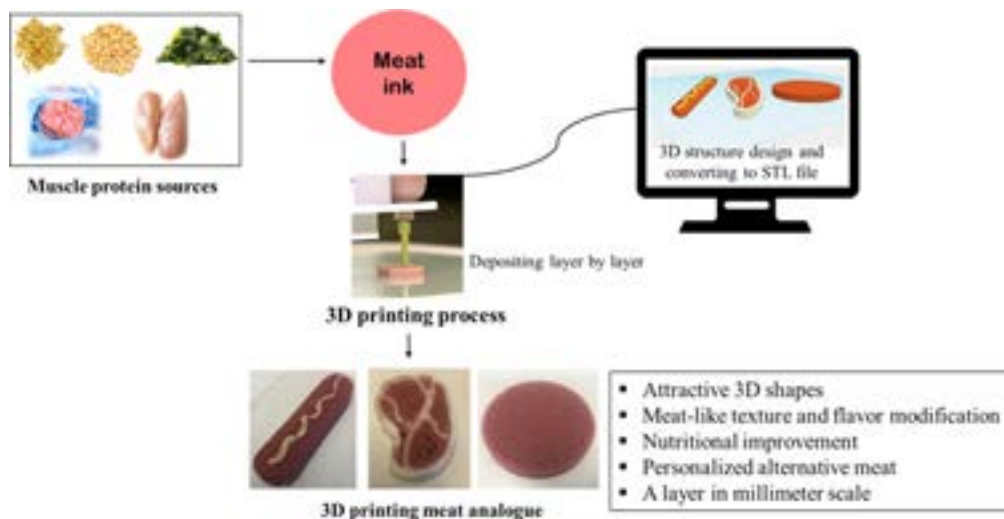


그림 36. 3D 푸드 프린터 기술을 접목한 대체육 생산 모식도(고려대학교)

4. 맺는말

전 세계적으로 코로나19 사태로 인해 식량안보 및 식량 위기가 초래되고 있는 가운데, 유엔(UN) 세계인구전망 보고서에 따르면 세계 인구는 2050년경 약 98억 명으로 증가할 것으로 예측하였다. 인구증가와 지구의 기후변화로 인해 식용곤충은 인류의 식량난과 환경파괴를 해결해 줄 대안으로 주목받고 있으며 현재에도 전 세계 20억 명이 약 1,900여 종의 식용곤충을 먹고 있는 것으로 조사되었다. 곤충을 식량으로 생산하게 되면 장점은 높은 토지 이용 효율, 많은 산란수와 짧은 생활사, 높은 사료효율, 적은 온실가스배출량, 고단백·고불포화지방산 및 다양한 기능성 물질을 포함하고 있다는 것이다. 세계 식용곤충 시장은 빠르게 성장 중이며 2026년까지 15억 달러 규모의 시장이 형성될 것으로 전망한다. 국내 식용곤충 시장은 정책 육성, 연구개발을 통해 꾸준한 성장세를 보이고 있으며 산업 규모는 2030년 6,309억 원으로 예상된다. 곤충산업에 종사하는 농가 수도 지속적으로 증가하여 2020년 기준 2,873개소로 확대되었다. 2014년 이전까지는 국내에서 법적 허용 식용곤충은 메뚜기, 누에 유충·번데기, 백강잠 3종이었으나 이후 농촌진흥청의 연구개발로 흰점박이꽃무지 유충, 갈색거저리 유충, 쌍별귀뚜라미, 장수풍뎅이 유충 4종이 식품의약품안전처에 일반식품원료로 등록되었다. 최근에는 아메리카왕거저리 유충, 수벌 번데기, 풀무치가 한시적 식품원료로 인정되어 총 10종의 곤충이 식용으로 이용할 수 있게 되었다. 한편 단세포 단백질을 이용한 대체 단백질 개발도 추진되는데 세균, 효모, 조류 등 미생물을 대량 배양하여 균체로부터 추출한 단백질로 제품을 제조하여 판매하고 있다. 식용곤충을 이용한 기능성 연구로는 갈색거저리를 이용하여 환자식 메뉴를 활용한 임상연구로 수술 후 갈색거저리 유충 분말을 복용한 환자의 면역 지표가 개선된 사례가 있다. 이 외에도 흰점박이꽃무지 유충으로부터 분리된 인돌알칼로이드는 항혈전 효과를 나타내는 등 식용곤충으로부터 다양한 기능성 연구가 보고되어 오고 있다. 식용곤충을 활용한 대체 단백질 이용 현황은 해외의 경우 스위스의 Essento가 식용곤충의 건조물과 단백질 바를 판매하고 있으며 곤충을 이용한 버거 패티를 제조하여 슈퍼마켓과 레스토랑에서 판매하고 있다. 이케아는 딱정벌레 유충으로 만든 버거와 미트볼 조리법을 비롯한 미래형 음식 조리법 20가지를 담은 요리책을 출간하였다. 국내에서는 식용곤충을 활용한 대체 단백질은 파우더, 에너지바 형태가 주로 개발되었으며 가공고기는 초기 단계로 갈색거저리 곤충 패티 및 레시피 연구가 진행되고 있다. 국내 기업인 Wellbug는 갈색거저리를 활용한 파우치형 단백질 보충제를 개발하였고, 퓨처푸드랩의 경우 갈색거저리와 귀뚜라미를 활용한 에너지바, 단백질 보충제, 씨리얼 등을 개발하여 판매 중이다. 이외에도 지속가능한 미래 먹거리 및 관련 산업에 대한 관심이 증가하면서 국내 식품 산업계는 4차 산업혁명과 푸드테크에 주안점을 두고 있다. 이 중 3D 푸드 프린트 기술은 푸드테크의 선도 기술로서 양질의 단백질 보충이 가능하며 맞춤형 식품 가공이 가능할 것으로 예상된다. 국내의 경우 3D 푸드 프린트 기술 개발 수준은 기술 개발 초기 단계로서 연구가 진행 중이며 시제품이 개발되고 있다. 국내뿐만 아니라 세계 3D 푸드프린팅 시장은 지속적으로 성장 중이며 시장점유율의 경우 미국이 가장 높으며 다음으로 독일과 중국이 차지하고 있다. 대체 단백질 3D 푸드프린트를 활용한 기술로는 다양한 원재료를 활용 조합하여 3D 프린트를 활용하여 고기의 육질과 유사한 구조를 만들어 내는 기술로 원재료는 주로 식물 단백질이 사용되는데 최근 곤충을 재료로 활용할 수 있는 연구가 진행 중이다. 식용곤충 유래 곤충 단백질을 이용하여 3D 푸드 프린트 기술에 적용한다면 고기의 근육질과 유사한 맛과 식감을 훌륭하게 재현할 수 있을 것으로 예상되며, 이에 더하여 고기의 '피맛'을 첨가한다면 미래 대체육으로서 그 가치가 주목된다.

세계 육류 소비량은 지속적인 증가와 함께 기존 축산물 생산 방식의 한계에 따른 대체 축산물로의 전환 필요성이 증가하고 있다. 작은 가축, 곤충을 이용하여 대체 단백질을 개발하는 것은 생산 시 환경친화적이면서 폐기물이 남지 않는 선순환구조의 실현이 가능하므로 미래 식량으로 활용하기에 매우 우수한 소재라 할 것이다. 앞으로 곤충을 활용한 대체 단백질의 개발을 촉진하기 위해서는 일반식인 가정간편식(HMR) 및 밀키트 개발과 고단백 영양보충제 개발 및 곤충의 인체 적용 가능성을 함유한 의료용 특수식 개발 등 수요자 맞춤형 기능성 식품의 소재 개발이 강화되어야 할 것이며, 식용곤충이 대체 단백질 식품으로서 전통적인 육류 생산의 좋은 대안이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김덕성, 허진, 유근창, 채수철, 이오선, 이황희, 이종빈, 김종선, 2007, *Allomyrina Dichotoma* Larva 추출물이 췌장 β -세포에서 streptozotocin에 의해 유도된 산화적 손상에 대한 보호효과, *환경독성보건의학회지*, 22권 4호, 349-355.
- 김민정, 김미경, 유영선, 2020, 식품 3D 프린팅 기술과 3D 프린팅 식품 소재, *Clean Technol.*, 26권 2호, 109-115.
- 김선영, 2020, 미래의 슈퍼푸드, 곤충 아메리카왕거저리, *국민영양*, 43권 8호, 18-22.
- 김선영, 박재은, 한지숙, 2019, C57BL/Ksj-db/db 제 2형 당뇨병모델을 이용한 갈색거저리 유충(밀웬) 추출물의 인슐린 감수성 및 혈당개선효과, *Journal of Life Science*, 29권 5호, 570-579.
- 김성현, 손진영, 박준성, 김종원, 강정현, 윤은영, 황재삼, 김형미, 2016, 갈색거저리를 이용한 식사 섭취에 따른 영양 섭취 및 영양상태 변화 : 수술 후 환자를 대상으로, *대한영양사협회 학술지*, 22권 4호, 292-309.
- 김수희, 2017, 식용곤충산업의 현황과 전망, *세계농업* 제207호.
- 김시현, 김유경, 한정순, 2020, 쌍별귀뚜라미 분말과 분말 단백질 추출물의 영양성분과 항산화 활성, *아시아부티화장품학술지*, 18권 2호, 163-172.
- 김태경, 용해인, 전기홍, 김영봉, 정사무엘, 김현욱, 최운상, 2020, 식용곤충 신시장 창출을 위한 기술동향 분석 및 시장 전망, *축산식품과학과 산업*, 9권 1호, 44-57.
- 김혜옥, 2020, 갈색거저리 유충 오일의 항산화 및 보습활성, *아시아부티화장품학술지*, 18권 3호, 273-281.
- 남성희, 김미애, 박관호, 김성현, 김선영, 윤형주, 황재삼, 김용순, 박해철, 김인우, 송정훈, 이경용, 김은선, 서민철, 이준하, 방혜선, 2020, 한국곤충산업 정책과 육성방안, 국립농업과학원.
- 류정표, 2017, 세계 식용곤충 시장 및 가공기술 동향, *세계농업* 제207호.
- 류희정, 송현지, 이승욱, 2019, 장수풍뎅이 유충 단백질 가수분해물의 제조 및 항산화 활성, *한국식품영양과학회지*, 48권 4호, 410-417.
- 박미성, 박시현, 이용선, 2020, 대체식품 현황과 대응과제, KREI 농정포커스 제190호.
- 박미성, 이용선, 김경필, 박시현, 한정훈, 2019, 식품산업의 푸드테크 적용 실태와 과제-대체축산식품과 3D 식품 프린팅을 중심으로, *한국농촌경제연구원 기본연구보고서*, 1-217.
- 박성권, 윤은영, 2018, 동물성 단백질 식품으로서의 곤충의 이용, *축산식품과학과 산업*, 7권 1호, 12-20.
- 박현진, 김현우, 2017, 세계 3D 식품 프린팅 기술 및 산업 동향과 미래 전망, *세계농업* 제 202호.
- 백민희, 서민철, 김미애, 윤은영, 황재삼, 2017, 갈색거저리 유충 추출물의 항산화 활성 및 모발 성장 촉진 효과, *Journal of Life Science*, 27권 11호, 1269-1275.
- 백민희, 서민철, 이준하, 김인우, 김미애, 황재삼, 2018, 풀무치 에탄올 추출물이 MG-63 조골세포 분화에 미치는 영향, *Journal of Life Science*, 28권 12호, 1448-1454.
- 백민희, 서민철, 이준하, 이화정, 김인우, 김선영, 김미애, 김성현, 황재삼, 2019, RANKL 유도된 파골세포 분화에 대한 풀무치 에탄올 추출물의 분화 억제 효과, *Journal of Life Science*, 29권 10호, 1104-1110.
- 서민철, 백민희, 이준하, 이화정, 김인우, 김선영, 황재삼, 김미애, 2019, 갈색거저리 유충 오일이 MG-63 조골세포 분화에 미치는 영향, *Journal of Life Science*, 29권 9호, 1027-1033.
- 서민철, 백민희, 이화정, 신용표, 이준하, 김인우, 김미애, 황재삼, 2020, 갈색거저리 유충 에탄올 추출물이 RANKL에 의해 유도되는 파골세포 분화에 미치는 영향, *Journal of Life Science*, 30권 11호, 983-989.
- 신용표, 이준하, 김인우, 서민철, 김미애, 이화정, 백민희, 김성현, 황재삼, 2020, 아메리카왕거저리 유래 항균 펩타이드 조포바신 1의 항염증활성, *Journal of Life Science*, 30권 9호, 804-812.

- 심소연, 안희영, 서권일, 조영수, 2018, 유용 미생물을 이용한 발효곰팡이 추출물의 이화학적 특성 및 생리활성효과, *Journal of Life Science*, 28권 7호, 827-834.
- 심소연, 장성호, 조영수, 안희영, 2020, *Saccharomyces cerevisiae* M1 (KACC 93023)으로 발효한 갈색 거저리 유충이 비 알코올성 지방간 유발 흰 쥐에 미치는 영향, *Journal of Life Science*, 30권 5호, 434-442.
- 심예진, 김동하, 표수진, 손호용, 정철의, 김도균, 조영은, 2020, 갈색거저리 및 동애등에 유충 오일의 급성 알코올성 간독성 및 장내누수증에 미치는 영향, *한국식품영양과학회지*, 49권 11호, 1175-1183.
- 유재묘, 장재윤, 김현정, 조용훈, 김동인, 권오준, 조영제, 안봉전, 2016, 갈색거저리(*Tenebrio Molitor*)의 향산화능과 Raw 264.7 대식세포의 항염증 효과, *한국식품저장유통학회지*, 23권 6호, 890-898.
- 윤성용, 조해주, 이경분, 2021, 대체육, KISTEP 기술동향브리프 01호.
- 윤형주, 김원태, 김용순, 황재삼, 이영보, 서민철, 김선영, 지상민, 2021, 곤충창업 무엇이든지 물어보세요, 국립농업과학원.
- 이영덕, 2018, *Lactobacillus brevis*를 활용한 흰점박이꽃무지 유충과 산양삼의 발효물에 대한 특성 연구, *한국식품위생안전성학회지*, 33권 5호, 369-374.
- 이정민, 김용렬, 2018, 대체 축산물 개발 동향과 시사점, 농정포커스 제170호.
- 이준하, 백민희, 이화정, 김인우, 김선영, 서민철, 김미애, 김성현, 황재삼, 2019, 흰점박이꽃무지 유래 항균 펩타이드 프로테티아마이신 2의 항염증활성, *Journal of Life Science*, 29권 11호, 1218-1226.
- 이지숙, 권오석, 황석연, 윤치영, 2011, 4염화 탄소를 이용한 SD-Rats의 진단지표와 사이토카인에 미치는 흰점박이꽃무지의 유충 추출물의 효과들, *대한임상검사과학회*, 43권 3호, 113-119.
- 이지은, 이안중, 조다운, 조주형, 윤금주, 윤은영, 황재삼, 전미라, 강병헌, 2015, 갈색거저리 유충 추출물의 간암세포에 대한 세포독성 효능, *한국식품영양과학회지*, 44권 2호, 200-207.
- 이지은, 조다운, 이안중, 박혜경, 윤금주, 윤은영, 황재삼, 전미라, 강병헌, 2015, 장수풍뎅이 유충의 간보호 효능 및 항암활성, *Journal of Life Science*, 25권 3호, 307-316.
- 이현정, 조철훈, 2019, 세계 대체육류 개발 동향, 세계농업 3월호.
- 이화정, 서민철, 김인우, 이준하, 황재삼, 김미애, 2017, 장수풍뎅이 유충 열수 추출물에 의한 항알레르기 와 항염증 효과, *Journal of Life Science*, 27권 10호, 1130-1136.
- 이화정, 서민철, 백민희, 신용표, 이준하, 김인우, 황재삼, 김미애, 2020, LPS에 의해 활성화된 미세아교세포에서 흰점박이꽃무지 유래 항균 펩타이드 Protactiamycine 6의 신경염증 억제 효과, *Journal of Life Science*, 30권 12호, 1078-1084.
- 이화정, 서민철, 이준하, 김인우, 김선영, 황재삼, 김미애, 2018, LPS로 자극된 미세아교세포에서 풀무치 에탄올 추출물의 신경염증 억제 효능, *Journal of Life Science*, 28권 11호, 1332-1338.
- 이화정, 서민철, 이준하, 김인우, 김선영, 황재삼, 김미애, 2019, LPS에 의해 활성화된 미세아교세포에서 흰점박이꽃무지 에탄올 추출물의 신경염증 억제 효과, *Journal of Life Science*, 29권 10호, 1096-1103.
- 이효선, 류희정, 송현지, 이승욱, 2017, 흰점박이꽃무지 유충 단백질수분해물의 제조 및 향산화 활성, *한국식품영양과학회지*, 46권 10호, 1164-1170.
- 임영희, 2017, 노인성 만성질환(혈액순환, 고지혈, 혈당, 당뇨 등) 완화를 위한 복합식품 개발, 농림축산식품부.
- 전경희, 정미연, 최수정, 이종욱, 박원학, 조세훈, 이승호, 정시련, 2001, 장수풍뎅이(*Allomyrina dichotoma*) 렉틴의 면역기능 증강효과, *생약학회지*, 32권 1호, 31-38.
- 정경용, 2016, 알레르겐의 물리생화학적 특성, *Allergy Asthma Respir Dis*, 4권, 3호, 157-166.
- 정근우, 김장오, 이윤지, 김해숙, 전찬희, 최제경, 주성현, 민병인, 2021, 흰점박이꽃무지 유충 추출물이 Co-60 감마선에 조사된 수컷 흰쥐의 혈구 및 전립선에 미치는 방사선 방호효과, *방사선기술과학*, 44권 2호, 117-122.

- 정근우, 정도영, 김창주, 이지은, 정상현, 김희진, 민병인, 2021, 감마선에 조사된 암컷 흰쥐의 생식기관에 대한 흰점박이꽃무지 유충 추출물의 방사선 방호효과, *한국방사선학회 논문지*, 15권 2호, 247-255.
- 전정우, 권해용, 조유영, 여주홍, 이희삼, 2012, 사염화탄소에 의해 유발된 흰쥐의 간독성에 미치는 흰점박이꽃무지 추출물의 간보호 효과, *한국잡사곤충학회지*, 50권 2호, 93-100.
- 정종연, 조철훈, 2018, 식육 및 육가공 산업에서의 육류 대체 식품 및 소재의 활용, *축산식품과학과 산업*, 7권 1호, 2-11.
- 정택영, 유명남, 허희진, 양진우, 정현상, 이준수, 2020, UVB로 손상된 피부 섬유아세포에서 쌍별귀뚜라미 메탄올 추출물의 보호효과, *한국식생활문화학회지*, 35권 5호, 478-482.
- 조형택, 심규상, 김예나, 장문한, 김태완, 이승환, 이동희, 김준호, 2019, 인슐린 결핍 당뇨 마우스에서 식용곤충 쌍별귀뚜라미 추출물의 항당뇨 활성, *한국식품영양과학회지*, 48권 10호, 1165-1171.
- 조혜린, 이유정, 홍지은, 이승욱, 2019, 쌍별귀뚜라미 단백질수분해물의 제조 및 항산화 활성, *한국식품과학회지*, 51권 5호, 473-479.
- 최라영, 함주리, 류효선, 박경욱, 강경윤, 이미경, 2019, 탈지 갈색거저리 유충의 발효추출물이 사염화탄소를 투여한 마우스의 간손상에 미치는 영향, *한국식품영양과학회지*, 48권 5호, 501-508.
- 최용화, 이기열, 양경미, 정윤미, 서정숙, 2006, 장수풍뎅이 유충 추출물이 사염화탄소에 의한 마우스의 간손상에 미치는 영향, *한국식품영양과학회지*, 35권 10호, 1349-1355.
- 최정석, 2019, 대체 단백질, 배양육 소재의 최신 연구 동향, *식품산업과 영양*, 24권 2호, 15-20.
- Hermans WJH, Senden JM, Churchward-Venne TA, Paulussen KJM, Fuchs CJ, Smeets JSJ, van Loon JJA, Verdijk LB, van Loon LJC, 2021, Insects are a viable protein source for human consumption: from insect protein digestion to postprandial muscle protein synthesis in vivo in humans: a double-blind randomized trial, *Am J Clin Nutr*, vol.114, no.3, 934-944.
- Hwang JS, Kang BR, Kim SR, Yun EY, Park KH, Jeon JP, Suh HJ, Nam SH, Kim I, 2008, Molecular Characterization of a Defensin-like Peptide from Larvae of a Beetle, *Protaetia brevitaris*. *Int.J.Indust.Entomol*, vol.17, 131-135.
- Kim IW, Kesavan Markkandan, Lee JH, Sathiyamoorthy Subramaniam, Yoo S, Park J, Hwang JS, 2016, Transcriptome Profiling and In Silico Analysis of the Antimicrobial Peptides of the Grasshopper *Oxya chinensis sinuosa*, *Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol.26 no.11, 1863-1870.
- Lee E, Kim JK, Shin S, Jeong KW, Lee J, Lee DG, Hwang JS, Kim Y, 2011, Enantiomeric 9-mer peptide analogs of protaetiamycine with bacterial cell selectivities and anti-inflammatory activities. *J Pept Sci*, vol.17, 675-682.
- Lee J, Hong HJ, Kim JK, Hwang JS, Kim Y, Lee DG, 2009, A novel antifungal analog peptide derived from protaetiamycine. *Mol Cells*, vol.28, 473-477.
- Lee JH, Myunghee Jung, Younhee Shin, Sathiyamoorthy Subramaniam, In-Woo Kim, Minchul Seo, Mi-Ae Kim, Seong Hyun Kim, Jihye Hwang, Eun Hwa Choi, Ui Wook Hwang, Jae Sam Hwang, 2021, Draft Genome of the Edible Oriental Insect *Protaetia brevitaris seulensis*, *Frontiers in Genetics*, vol.11, 593994.
- Lee JH, Seo M, Lee HJ, Baek M, Kim IW, Kim SY, Kim MA, Kim SH, Hwang JS, 2019, Anti-Inflammatory Activity of Antimicrobial Peptide Allomyrinasin Derived from the Dynastid Beetle, *Allomyrina dichotoma*, *Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol.29 no.5, 687-695.
- Lee JH, Chung HY, Shin YP, Kim MA, Sathishkumar Natarajan, Karpagam Veerappan, Kim SH, Park J, Hwang JS, 2021, Uncovering Antimicrobial Peptide from *Zophobas atratus* Using

- Transcriptome Analysis, *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, vol.27 no.3, 1-9.
- Lee JH, Chung Hoyong, Shin Yong Pyo, Kim In-Woo, Natarajan Sathishkumar, Veerappan Karpagam, Seo Minchul, Park Junhyung, Hwang Jae Sam, 2021, In silico strategic curation, retrieval and prediction of novel antimicrobial peptide from *Locusta migratoria* transcriptome, *Journal of Asia-Pacific Entomology*, vol.24 no.2, 237-242.
- Lee JI, Lee WH, Kim MA, Hwang JS, Na MK, Bae JS, 2017, Inhibition of platelet aggregation and thrombosis by indole alkaloids isolated from the edible insect *Protaetia brevitarsis seulensis* (Kolbe), *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, vol.21 no.6, 1217-1227.
- Pali-Schöll I, Meinschmidt P, Larenas-Linnemann D, Purschke B, Hofstetter G, Rodriguez-Monroy FA, Einhorn L, Mothes-Luksch N, Jensen-Jarolim E, Jäger H, 2019, Edible insects: Cross-recognition of IgE from crustacean- and house dust mite allergic patients, and reduction of allergenicity by food processing, *World Allergy Organ J*, vol.12 no.1, 100006.
- Ribeiro JC, Cunha LM, Sousa-Pinto B, Fonseca J, 2018, Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review, *Mol Nutr Food Res*, vol.62, no.1, 1700030.
- Shin S, Kim JK, Lee JY, Jung KW, Hwang JS, Lee J, Lee DG, Kim I, Shin SY, Kim Y, 2009, Design of potent 9-mer antimicrobial peptide analogs of protaetiamycine and investigation of mechanism of antimicrobial action. *J Pept Sci*, vol.15, 559-568.
- Sogari G, Bogueva D, Marinova D, 2019, Australian consumers' response to insects as food, *Agriculture*, vol.9 no.5, 108.

제4세부 과제

세포배양에 의한 인조육 생산 기술

The Present and Future of Alternative Meat: Cultured Meat

연구책임자 : 지현근 (주)다나그린 이사

연구기간 : 2021년 1월 1일 ~ 2021년 10월 31일

2021년 10월

세포배양에 의한 인조육 생산 기술

지현근
(주)다나그린

목차

1. 들어가며
2. 세포배양육의 주요 기술요소
3. 세포배양육의 원료세포와 안전성 문제
 - 1) 근육줄기세포(Muscle stem cell)
 - 2) 배아줄기세포주(Embryonic stem cell line)
 - 3) 유도만능줄기세포주(Induced pluripotent stem cell line)
 - 4) 섬유아세포주(Fibroblast cell line)
 - 5) 교차분화시킨 섬유아세포주(Transdifferentiation of fibroblast cell line)
4. 세포배양육 주요업체
 - 1) 잇저스트(Eat Just)
 - 2) 업사이드푸드(Upside Foods)
 - 3) 알레프팜스(Aleph Farms)
 - 4) 모사미트(Mosa Meat)
 - 5) 퓨처미트(Future Meat Technologies)
 - 6) 슈퍼미트(Supermeat The Essence of Meat, 이하 SuperMeat)
 - 7) 미트테크(MeaTech 3D)
5. 세포배양육 관련 자주 묻는 질문(FAQ)
 - 1) [배경] 세포배양육은 정말 친환경적인가?
 - 2) [배경] 세포배양육 생산기술은 어떻게 발달하고 있나?
 - 3) [배경] 세포배양육은 식물성 대체육과 어떻게 다른가?
 - 4) [세포] 세포배양육의 원료세포는 안전한가?
 - 5) [배양액] 배양액의 첨가물을 어느 수준까지 허용할 것인가?
 - 6) [배양액] 소태아혈청 대체재의 개발은 왜 중요한가?
 - 7) [배양액] 세포배양육은 무항생제인가?
 - 8) [지지체] 지지체의 사용은 필수인가?
6. 맺으며

참고문헌

1. 들어가며

세포배양육에 대한 최초의 기록은 1931년으로 거슬러 올라간다. 몇 년 후 영국 총리로 대활약을 하게 될 윈스턴 처칠(Winston Churchill)은 당시 정치인 생활을 잠시 접고 유럽 전역을 여행하던 중이었다. 남달리 문장력이 뛰어났던 윈스턴 처칠은 이 기간에 몇 편의 글을 언론에 기고하는데, 스트랜드 매거진에 투고한 글 '50년 후(Fifty Years Hence)'에 닭의 가슴이나 날개만 따로 키우는 세포배양육의 개념이 언급된다(Churchill W, 1931). 실제로 약 50년이 지난 후 빌럼 반 에일런(Willem van Eelen)은 간단한 세포배양육 연구를 시작하고, 그의 고향 네덜란드에서는 세포배양육 연구를 지원하는 분위기가 형성된다. 빌럼 반 에일런과 교류가 있던 마크 포스트(Mark Post) 교수는 이후 구글의 창업자 세르게이 브린(Sergey Brin)의 지원으로 세계 최초의 세포배양육 시식 행사를 2013년 BBC를 통해 공개한다. 이 일은 현재의 기술로도 세포배양육의 생산이 충분히 가능하다는 인식을 사람들에게 심어주었고, 많은 이들을 관련 분야에 뛰어들게 만든다. 2020년 11월 26일 세계 최초로 싱가포르에서 미국 회사 잇저스트(Eat Just)가 세포배양육의 식품허가를 받았고, 2021년 3월 12일 이스라엘 회사 미트테크(Meatech 3D)가 미국 나스닥에 상장했다.

이 글의 본문에서는 세포배양육 생산에 필요한 기술에 어떤 것이 있는지 살펴보고, 특히 원료세포의 안전성 관련 사항을 되짚어보며, 제 2, 제 3의 잇저스트 또는 미트테크가 될만한 주요 세포배양육 업체들의 동향을 다루었다. 필자가 세포배양육에 관해 관련 업체, 투자자, 규제기관의 담당자들과 주고받은 이야기 중 함께 나누었으면 하는 부분을 자주 묻는 질문(FAQ)으로 정리하였다. 아직 정해지지 않은 것이 많은 분야이니만큼, 간간이 세포배양육의 미래에 대해서도 감히 예측하고자 한다.



그림 1. 2013년 시식회 당시의 세포배양육 모습

출처: BBC News, 2013 Aug 5

2. 세포배양육의 주요 기술요소

세포배양육 생산을 위해 필요한 주요 기술요소는 원료세포, 배양액, 배양기, 지지체의 4가지이다. 간략하게 설명하면 아래와 같다. 특히 세포는 다양한 기술이 사용되며, 세포배양육의 안전성과 직접 관련되는 기술 요소로 별도로 자세히 다루도록 하겠다.

세포는 세포배양육의 시작이 되는 존재이며 농업에 비유하면 종자에 해당한다. 법씨를 논에 뿌리고 몇 달간 돌보면 수백 개의 낱알을 얻듯, 가축 세포를 체외에서 키워서 수를 불리고(증식), 근육으로 만드는 게(분화) 세포배양육의 기본 개념이다. 때문에 세포배양육을 '세포농업(cellular agriculture)'으로 설명하기도 한다. 세포배양육의 원료가 될 수 있는 다양한 종류의 세포가 존재하고(종자의 다양성), 이를 냉동하여 장기간 보관하고 해외로 운송할 수 있다(종자의 보존성). 최근에는 근육으로 만드는 과정 없이 증식과정만 거친 후 식물성 재료와 섞어 하이브리드 세포배양육을 만드는 업체들이 등장하였다. 또한 근육이 아니라 지방을 만들어 식물성 대체육에 섞어 사용하려는 업체들도 있다.

배양액은 세포가 자랄 수 있도록 영양분을 제공해주는 액체로 농업에서의 비료에 해당한다. 많은 양을 필요로 하기 때문에 세포배양육 생산비용 중 가장 큰 부분을 차지하고 있다. 배양액 관련 현재의 유행은 크게 소태아혈청 대체, 식품소재 사용, 저비용화이다. 소태아혈청을 대체하기 위해 주요성분인 성장인자를 재조합 단백질 기술로 대량 생산하려는 회사도 있고 기존 생물자원의 가수분해물 또는 추출물로 대체하려는 회사도 있다.

배양기는 세포가 자라는 공간이다. 효과적인 산소 및 영양분 공급과 노폐물 제거를 위해 교반을 필요로 하면서도 세포의 손상을 최소화하기 위한 세밀한 설계가 필요하다. 가장 널리 쓰이는 것은 교반탱크(stirred tank) 방식의 배양기이며, 시장 진입에 임박한 세포배양육 회사들은 대부분 교반탱크 배양기를 사용하고 있다. 21세기 들어 바이오의약품의 생산이 대규모로 이루어지면서 수만 리터에 달하는 대규모 교반탱크 배양기가 세계 곳곳에서 운영되고 있기 때문이다. 앞으로는 관류식 배양기(perfusion bioreactor), 에어리프트 배양기(airlift bioreactor) 등 다양한 형태의 배양기가 세포배양육 생산에 적용될 것으로 본다.

지지체는 세포배양육 생산에 큰 이득을 가져올 수 있음에도 상대적으로 연구개발이 더디다. 대부분의 동물세포는 어딘가에 부착하여 성장하며 기능한다. 세포배양육을 구성하는 세포도 어딘가에 붙어서 자라야 가장 고기다운 모습을 보일 수 있다. 세포배양육 생산에 적용되는 지지체는 세포의 증식을 돕고, 세포가 근육으로 분화하는 과정을 촉진해야 하며, 배양기 내 충격으로부터 세포를 보호하는 동시에, 영양분과 노폐물의 이동이 쉽게 이루어지는 구조여야 한다. 그리고 대규모 생산을 염두에 둔다면 식용이 가능한 저비용의 재료로 만드는 게 이상적이다. 배양기와의 궁합이 중요하기 때문에 배양기 기술과 함께 발전하리라 생각한다.

3. 세포배양육의 원료세포와 안전성 문제

1) 근육줄기세포(Muscle stem cell)

세포배양육의 대표적인 원료세포는 근육줄기세포이다. 근육(육류)을 만들기 위한 가장 직관적인 방법이기도 하다. 게다가 어렵지 않게 얻을 수 있다. 근육줄기세포는 체외에서 증식이 가능하면서 분화하여 근육을 만들 수 있는 다양한 세포를 의미한다. 근육줄기세포는 분리하는 방법이 다양하다. 대표적으로는 표현형(세포 표면의 단백질 발현양상)을 이용하여 분리하는 방법과 부착능력을 이용하여 분리하는 방법이 있다. 표현형을 이용하여 분리하는 방법은 마크 포스트 교수팀이 많은 연구를 하였다. 마크 포스트 교수팀이 2013년 세포배양육 시식회를 위해 사용한 근육줄기세포는 CD29와 CD56 단백질을 발현하는 세포로 근육위성세포(myosatellite cell)라고도 불린다(Ding S et al., 2018). 이와 달리 프리플레이팅(preplating)이라는 방법을 이용하여 분리하는 경우도 있는데, 주로 근육줄기세포와 육안상 구분이 힘든 섬유아세포를 부착성의 차이를 이용하여 분리하는 방법이다(Urish et al., 2005). 표현형을 이용하는 방법보다 세포의 순도가 떨어지지만 세포를 대량으로 확보하기에 유리하다.

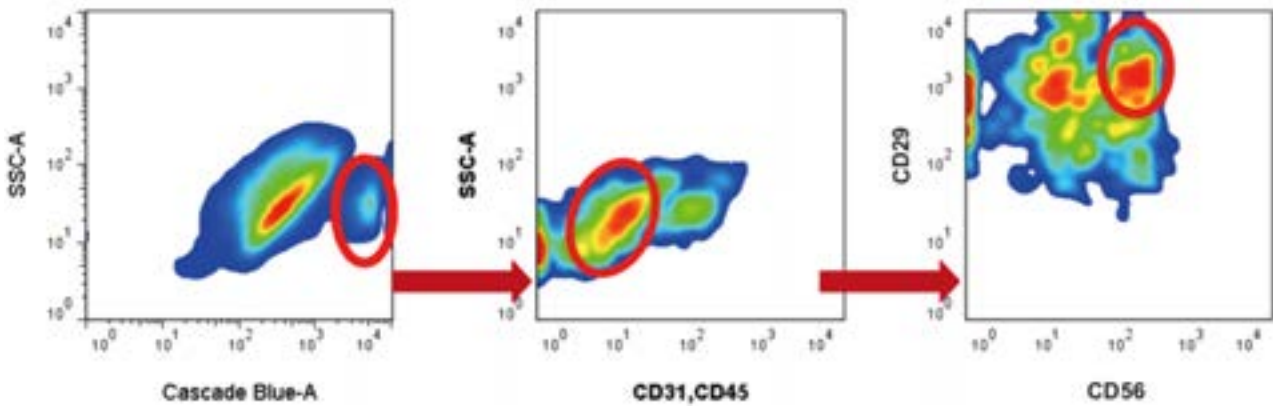


그림 2. 표면 단백질 발현양상을 이용한 근육줄기세포 분리 방법(표현형 분리법)

출처: Ding S et al., 2018

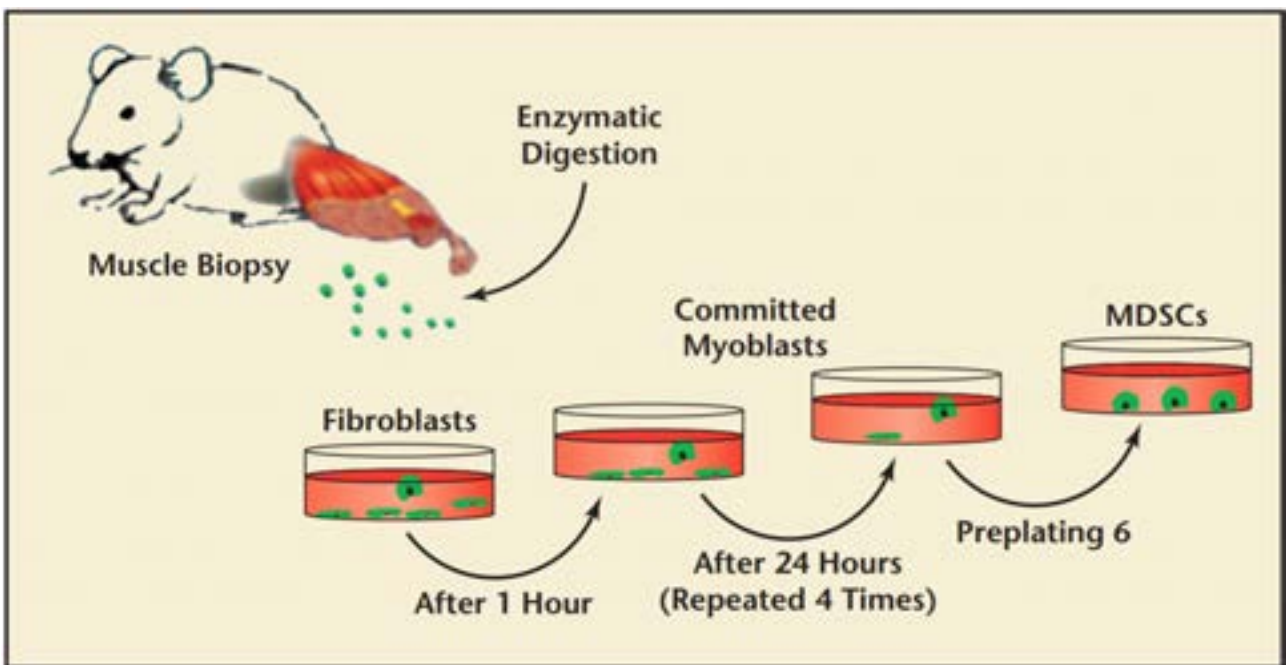


그림 3. 부착능을 이용한 근육줄기세포(MDSC) 분리 방법(프리플레이팅 분리법)

출처: Urish et al., 2005

근육줄기세포를 이용하는 방법에는 몇 가지 단점이 있다. 우선 근육줄기세포를 매번 동일한 품질로 얻기가 쉽지 않다. 살아있는 개체에서 조직을 얻는 경우 바늘을 찌르는 부위에 따라 채취되는 세포가 달라지며, 충분한 세포수 확보가 어렵고, 동물윤리 문제도 있다. 도축된 개체(도체)에서 세포를 얻는 경우 어느 정도 해결이 가능하기 때문에 세포배양육 산업화 초기에는 살아있는 개체에서 얻는 방식보다는 도체를 활용하는 방식이 널리 쓰일 듯 하다. 물론 도체를 사용하는 경우에도 균일한 품질의 근육줄기세포를 꾸준히 얻어내는 것은 쉬운 일이 아니다. 가축 개체에 따른 편차가 크고, 따라서 이를 표준화할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 또한 가축에서 세포를 얻는 과정에서 미생물 오염의 가능성이 높아 이에 주의하여야 한다. 뒤에서 다룰 세포주를 이용하는 방법에 비해 근육줄기세포의 일차배양(primary culture) 과정에서는 미생물 오염을 완전히 제거하기가 어렵다.

무엇보다 근육줄기세포를 이용할 때의 가장 큰 단점은 대량으로 생산할 때 생산효율이 떨어진다는 점이다. 몸 밖으로 꺼내고 나면 일정 기간 이상 생존하지 못하기 때문이다. 근육으로 분화하는 능력도 오래 유지되지

못한다. 마크 포스트 교수팀의 논문을 보면 근육줄기세포가 근육으로 분화하는 능력은 10여 일 만에 20% 수준으로 감소한다(Ding S et al., 2018). 세포 수를 많이 불러서 최대한 많은 양의 근육으로 분화시켜야 하는 배양육 생산자의 입장에서 만족스럽지 않은 수치이다.

반면 근육줄기세포를 이용하는 경우 최고의 장점은 안전성이다. 수명이 제한되고 배양 기간이 상대적으로 짧기 때문에 위해한 변이가 발생할 가능성이 낮다. 미국의 블루날루(BlueNalu)같은 회사는 생선의 근육줄기세포를 일정한 품질로 얻어내는 배양조건을 확립하였다고 한다. 성장인자 등 배양액의 주요성분을 조정하여 8종의 생선에 대해 거의 균일한 품질의 근육줄기세포를 얻을 수 있다(Bond, 2021 Sep 30). 블루날루는 이렇게 얻은 근육줄기세포에 세포주(cell line)이라는 표현을 쓰는데, 아마도 상당기간 장기 배양이 가능하기 때문으로 파악된다. 물론 불멸화된 세포주(continuous cell line)를 의미하는 것은 아니다.

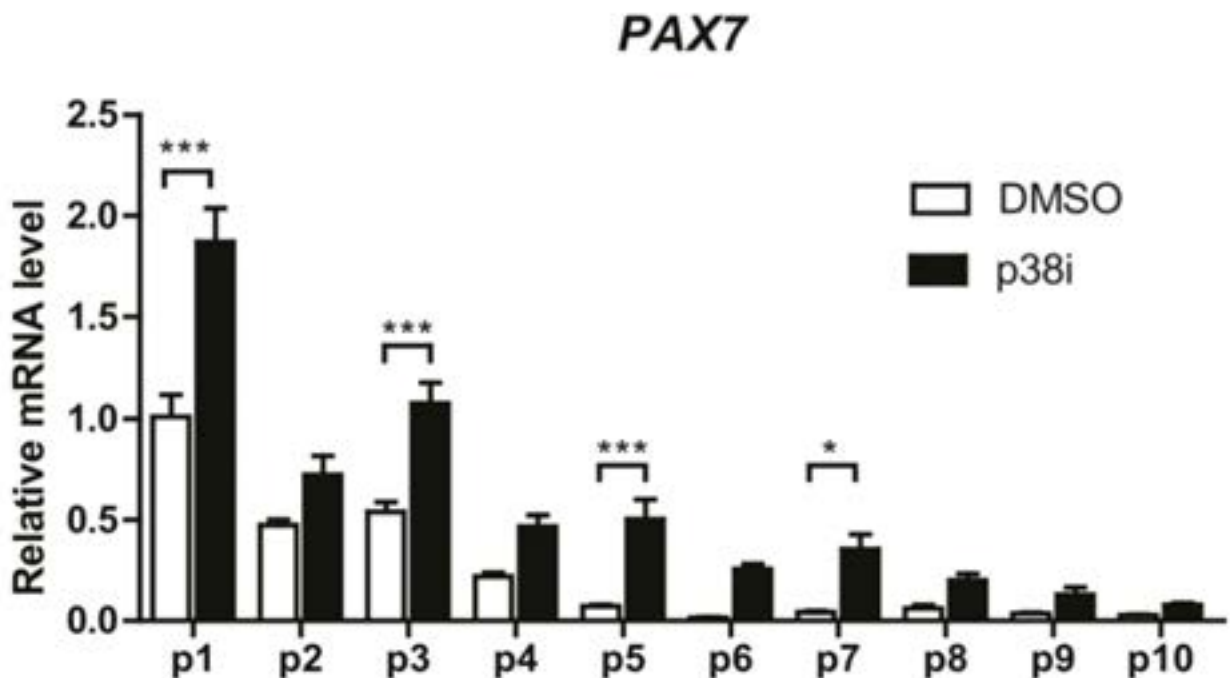


그림 4. 근육줄기세포의 체외 배양 중 분화 능력(Pax7 유전자 발현량) 감소 추이

출처: Ding S et al., 2018

2) 배아줄기세포주(Embryonic stem cell line)

배아줄기세포주는 동물의 배아 내에 존재하는 줄기세포 중 일부가 체외의 환경에 적응하여 불멸화된 것을 의미한다. 이론적으로 무한히 증식하므로 균일 품질의 배양육 생산이 가능하다. 즉 같은 배아줄기세포주만 사용한다면 오늘 서울에서 만드는 배양육과 10년 후 미국 샌프란시스코에서 만드는 배양육에서 같은 맛이 나도록 할 수 있는 것이다. 물론 이것은 이상적인 경우이므로 실제 구현하기에는 상당히 까다롭지만, 근육줄기세포를 이용하는 방법에 비해서 품질관리가 훨씬 용이하다는 사실은 변함이 없다.

배아줄기세포주를 이용한 배양육 생산의 단점은 아래와 같다. 첫 번째로, 배아줄기세포주는 확보하기가 어렵다. 일단 동물의 수정란을 대량으로 얻기가 어렵고, 수정란 내부의 소수의 줄기세포를 원하는 시간대에 얻는 것은 더 어려우며, 이렇게 얻은 배아줄기세포(아직 세포주가 아니다) 가운데 세포주화 되는 세포

클론을 선별하는 일은 더 큰 난관이다. 소의 배아줄기세포주는 2018년에 UC 데이비스에서 처음으로 확립되었으며(Bogliotti et al., 2018), 돼지의 경우 서울대학교 팀에 의해 2019년에야 최초로 보고되었다(Choi et al., 2019). 닭의 배아줄기세포주는 2021년 말인 현재까지도 확립되어 있지 않다. 관련 연구를 훨씬 일찍 시작한 마우스와 인간의 경우 배아줄기세포주가 제법 수립되어 있는 것을 보면, 다행히 시간이 지나면 더 많은 가축의 배아줄기세포주가 확립될 것으로 보인다.

두 번째로, 배아줄기세포주는 유지비용이 비싸다. 배아줄기세포의 특성을 유지하며 미분화상태로 증식시키기가 까다롭고 비용도 많이 든다. 현재로서는 다른 방식의 세포를 이용하여 만드는 배양육에 비해 더 비싼 재료들을(성장인자 등) 이용해 배양할 수밖에 없는 구조다. 상업화를 위해서는 배아줄기세포주 배양액의 단가를 낮추어야 한다.

세 번째로, 안전성에 관련해서 근육분화에 관한 충분한 연구가 이루어지지 않았다. 아직 배아줄기세포를 근육으로 분화시킬 때 모든 세포가 근육으로 분화한다고 확신할 수 없다. 근육이 아니라 다른 장기로 분화된(분화 중인) 세포가 섞여 있을 가능성이 존재한다. 이러한 세포 가운데 먹었을 때 문제가 될 만한 여지가 있을지는 아직 알 수 없다. 배아줄기세포는 성체의 줄기세포(예를 들어 근육줄기세포)에 비해 분화의 잠재력이 큰 만큼, 테라토마(teratoma)의 예와 같이 원하는 않는 조직으로의 분화가 가능하다는 부분이 단점이다. 배아줄기세포, 유도만능줄기세포 두 종류의 세포는 테라토마를 형성한다. 근육줄기세포, 섬유아세포, 중간엽줄기세포 등은 테라토마를 형성하지 못한다.



그림 5. 배아줄기세포 및 유도만능줄기세포의 특징인 테라토마

출처: Kim et al., 2014

3) 유도만능줄기세포주(Induced pluripotent stem cell line)

유도만능줄기세포주는 여러모로 배아줄기세포주와 유사하여 그 장점을 그대로 가져오면서도 훨씬 쉽게 확보할 수 있다. 하지만 대부분의 유도만능줄기세포주 제조방식은 유전자 조작 기술을 사용한다는 단점이 있다. 가장 대표적인 유도만능줄기세포주의 제조방법은 배아줄기세포의 특성을 나타내도록 만드는 4개의 유전자(*Oct3/4*, *Sox2*, *Klf4*, *c-Myc*)를 바이러스를 이용하여 타겟 세포의 염기서열 내에 삽입하는 것이다. 명백한 GMO 기술이다. GMO 논란이 있더라도 효율성을 위해 유도만능줄기세포주를 선택한 업체들은 네덜란드의 미터블(Meatable), 영국의 하이어스테이크(Higher Steak) 등이 있다.

외부 유전자를 타겟 세포의 염기서열에 삽입하지 않고(non-integrating) 유도만능줄기세포주를 만드는

기술은 존재한다. 특히 상보적인 염기서열조차 사용하지 않고 단백질과 한시적으로 결합하는 화학물질만을 이용하여 타겟 세포 내의 유전자 발현을 조절, 유도만능줄기세포주를 만드는 방법도 있다. 하지만 아직까지 이 방식으로 만든 유도만능줄기세포를 이용하여 세포배양육을 생산하려는 업체는 등장하지 않았다.

유도만능줄기세포주는 배아줄기세포주보다 단일서열/염색체의 변이가 일어날 가능성이 더 크다. 세포 배양 과정에서 뿐만 아니라 유도만능줄기세포를 제작하는 과정에서도 원하지 않은 변이가 발생할 수 있기 때문이다.

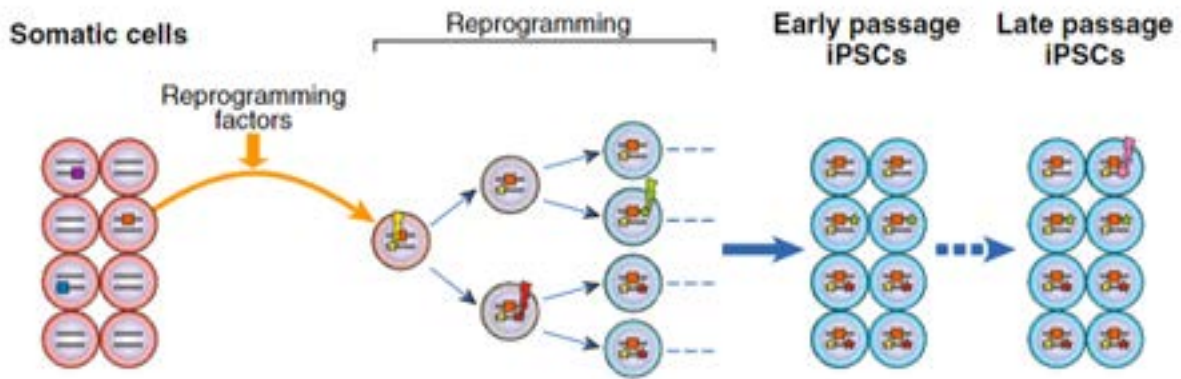


그림 6. 유도만능줄기세포에서 발생할 수 있는 염기서열 변이의 예

출처: Yoshihara et al., 2017

4) 섬유아세포주(Fibroblast cell line)

2013년 최초의 세포배양육이 세상에 등장했을 때는 아무도 생각하지 못했던 방법으로 세포배양육을 만드는 업체들이 있다. 심지어 그 중 하나는 후발주자임에도 불구하고 세계 최초로 세포배양육 제품의 식품허가를 받았다. 바로 미국의 잇저스트(Eat Just), 이스라엘의 퓨처미트(Future Meat) 및 슈퍼미트(Super Meat)의 이야기다. 근육줄기세포에 비해 상대적으로 배양이 쉬운 섬유아세포를 이용하여 세포배양육을 생산하겠다는 매우 산업적인 발상이다. 당연히 이 방식으로 만든 세포배양육은 조직화된 근육보다는 동물 세포의 집합체에 가깝다. 하지만 영양성분이 기존 육류와 유사하며, 실제로 먹어보면 맛도 나쁘지 않다. 씹었을 때의 질감이 좋지 않지만 식물성 대체육에 섞어서 활용하면 서로의 단점을 보완하는 좋은 조합이 된다. 섬유아세포는 세포주로 만들기에 유리한 것으로 보이며 한번 세포주화 된 세포는 부유배양에도 적응시킬 수 있어 대량 생산에도 용이하다. 기존에 널리 활용되던 교반탱크(stirred-tank) 배양기에 넣기만 하면 된다.

이러한 산업적 접근법은 그동안 학계 중심으로 서서히 움직이던 세포배양육 업체들에 일종의 경종을 울렸다. 퓨처미트는 2018년에 창업하였음에도 불구하고 굉장히 빠른 속도로 거액의 투자를 유치하고, 최초로 배양기에서 세포배양육을 생산하기 시작하였다. 남들보다 생산 공정을 먼저 운용해본 경험은 공정 효율화에 대한 노하우로 이어졌으며, 다른 업체들과 달리 구체적인 생산단가까지 제시할 수 있는 수준에 이르렀다. 퓨처미트의 생산단가는 2021년 5월 현재 킬로그램 당 약 37달러 수준까지 내려온 것으로 파악된다 (Terazono, 2021 May 6). 참고로 2013년 최초로 공개되었던 세포배양육 패티는 킬로그램 당 약 25억 원 정도의 비용이었다(BBC News, 2013 Aug 5).

미국의 잇저스트는 퓨처미트의 등장을 보며 재빨리 따라가는 전략을 사용한 것으로 추정되며 잇저스트의 특허를 보면 퓨처미트와 거의 유사한 방법으로 세포배양육을 생산한다는 것을 알 수 있다. 퓨처미트나 슈퍼미트에 비해 식물성 대체육의 대량 생산 및 유통 노하우가 쌓여 있었고, 보유하고 있던 자본이 더 많았

기 때문인지 시장 진입도 더 빨라서 최초의 식품허가라는 타이틀은 잇저스트에게 돌아가게 되었다.

퓨처미트와 마찬가지로 이스라엘에서 설립된 수퍼미트는 퓨처미트와 거의 동일한 행보를 보이는데, 현재 세포배양육을 시식할 수 있는 식당인 더 치킨(The-Chicken)을 운영하고 있다.

잇저스트, 퓨처미트, 수퍼미트 모두 달걀에서 얻은 닭의 섬유아세포를 세포주화 시켜 사용하고 있다. 인위적인 유전자 조작없이 배양 과정에서 저절로 불멸화(immortalized)되었기 때문에 GMO 규정상 유전자 조작 식품은 아니다. 따라서 세 회사 모두 논지엠오(non-GMO)를 마케팅 포인트로 삼고 있다. 아직은 시장 진입 초기이며 특히 잇저스트는 채식주의자 커뮤니티를 중심으로 전폭적인 지지를 받고 있기 때문에 별다른 반론은 보이지 않는다. 추후 시장이 커지고 경쟁이 심화되면 유사 GMO라는 소비자단체의 비판을 받을 가능성이 있다.

싱가포르 식품청(Singapore Food Agency, 이하 SFA)의 세포배양육 안전성 평가 지침을 보면 세포배양육에서는 염기서열을 추출하여 원래 조직 대비 단일서열/염색체의 변이를 확인하고, 만약 변이가 존재한다면 해당 변이가 안전성 위해요소가 아니라는 증명을 해야 한다. 실제로 잇저스트는 큰 비용을 들여 이 과정을 거친 것으로 생각된다.



그림 7. 싱가포르에서 3일간 시범 판매된 잇저스트의 치킨 너겟.

출처: Phua, 2020 Dec 21

5) 교차분화시킨 섬유아세포주(Transdifferentiation of fibroblast cell line)

교차분화는 세포치료제 분야에서 원래 쓰이던 용어로 A라는 조직의 세포가 원천적 줄기세포의 상태를 거치지 않고 B라는 조직의 세포로 분화하는 것을 의미한다. 앞서 언급한 유도만능줄기세포의 경우 원천적 인줄기세포의 상태로 돌아가는 경우이므로 교차분화와는 다르다. 배아줄기세포 또는 유도만능줄기세포는 분화능력이 강한 만큼 세포치료제의 형태로 체내에 주입했을 때 종양 형성의 가능성이 있기 때문에, 효율

이 떨어지지만 비교적 안전한 교차분화의 개념이 등장한 것이다. 교차분화에 주로 사용되는 세포가 바로 중간엽 줄기세포(mesenchymal stem cell)이며, 세포배양육 업체에서 사용하는 섬유아세포는 중간엽 줄기 세포와 유사한 역할을 한다(Soundararajan et al., 2018).

퓨처미트의 야코프 나미아스 교수는 섬유아세포주를 확보하자마자 근육으로의 교차분화에 매진했었다. 만약 이 전략이 성공했다면 엄청난 반향을 불러왔을 테지만, 아쉽게도 퓨처미트의 특허를 살펴보면 성공하지 못한 것 같다. 유전자 조작 기술을 사용하여 섬유아세포를 근육으로 분화시키는 특허 청구항이 있긴 하지만, GMO 논란을 염려하여 사용하지 않기로 결정한 것 같다. 현재로서는 퓨처미트를 포함하여 어느 회사도 GMO 기술없이 섬유아세포를 근육으로 교차분화 시키는 데 성공하지는 못한 것으로 파악된다.

섬유아세포 계통의 세포들은 근육에 비해 지방으로는 잘 분화되는데, 특허를 살펴보면 실제로 퓨처미트도 자사의 섬유아세포를 지방으로 분화시키는 데 성공한 듯 하다. 유전자 조작 기술은 사용되지 않으며, 놀랍게도 식품원료를 이용한 배양액으로 가능했다고 한다(PCT/IL2017/050790). 올레익산과 모종의 천연물을 사용하는 것으로 추정된다. 천연물은 지방 분화에 중요한 역할을 하는 PPAR γ 단백질을 자극시키는 역할을 한다.

퓨처미트에 이어 다양한 업체들이 섬유아세포의 지방 교차분화에 성공한 듯 하다. 대부분이 식품원료를 이용하여 지방을 배양한다. 세계 최초로 미국 나스닥에 상장한 이스라엘의 미트테크(Meatech 3D)는 지방 교차분화 기술을 보유하고 있던 벨기에의 피스오브미트(Peace of Meat)을 인수하여 현재 공정 당 700그램의 배양 지방을 생산할 수 있는 수준으로 알려져 있다(Wack, 2021 Sep 15). 잇저스트의 초기 멤버들이 나와서 만든 미국의 미션반스(Misson Barns)도 배양 지방 생산 기술을 보유하고 있으며, 현지 식물성 대체육 회사와 함께 조만간 배양 지방이 포함된 식물성 소시지를 출시하기 위해 준비하고 있다(Ajith, 2021 Apr 7). 이 외에도 영국의 혹스턴팜스(Hoxton Farms), 스웨덴 멜트앤마블(Melt and Marble) 등의 업체가 관련 기술을 보유한 것으로 알려져 있다. 심지어 홈페이지에 들어가보면 세계 최초의 시식회의 주인공 마크 포스트 교수의 모사미트(Mosa Meat)도 최근에는 배양 지방을 연구하고 있다.

배양 지방의 경우 배양액 관련해서는 안전성 관련된 논란이 없을 것으로 보인다. 식품으로 만드는 식품(food out of food)의 개념이므로 이상적인 세포배양 제품 생산방법이라 할 수 있다. 물론 세포주를 사용하는 경우에는 잇저스트의 전례를 따라 단일서열/염색체의 변이를 분석하고, 그 변이 각각의 위해성을 살펴보는 과정을 거쳐야 할 것으로 보인다.

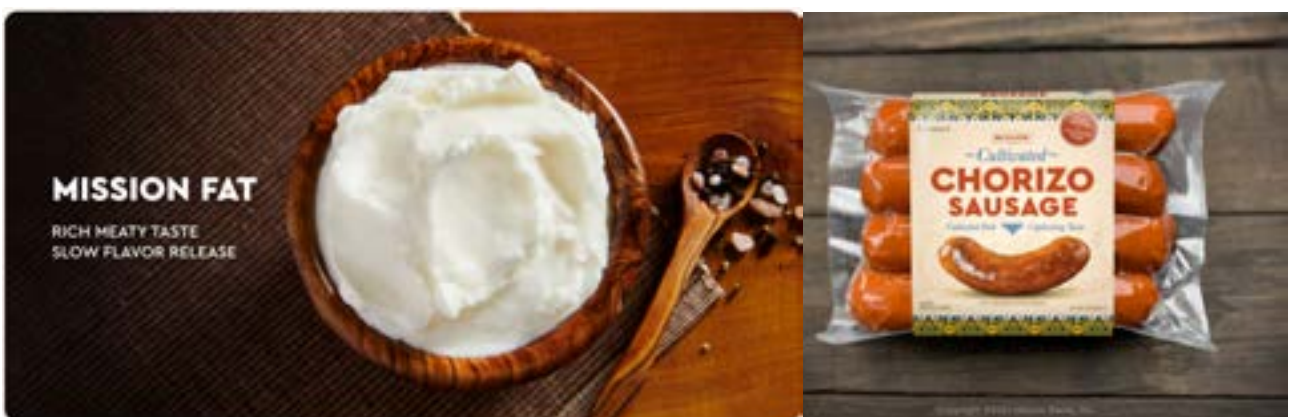


그림 8. 미션반스의 배양 지방(좌)과 이를 첨가하여 출시 예정인 식물성 대체육 소시지(우)

출처: Ajith, 2021 Apr 7; Connolly, 2021 Oct 20

4. 세포배양육 주요업체

1) 잇저스트(Eat Just)

변호사 출신의 조쉬 테트릭(Josh Tetrick)이 고등학교 친구인 조쉬 보크(Josh Balk)와 2011년 미국 샌프란시스코에서 설립하였다. 누적투자액은 거의 8000억 원에 달하며 상장을 준비하고 있다. 빌 게이츠, 피터 틸(일론 머스크와 페이팔을 공동 창업한 사람), 리카싱(홍콩의 최대 부호)등이 투자하였다. 조쉬 테트릭과 조쉬 보크는 둘다 채식주의자이며 잇저스트도 채식주의의 운동가들의 전폭적인 지지를 받고 있다. 조쉬 보크는 지분을 가지고 있지 않은 상태로 창업에만 관여하였으며, 현재 동물윤리 관련 비영리단체(The Humane Society of the United States)에서 일하고 있다.

잇저스트의 설립 당시 이름은 햄튼크릭(Hampton Creek)이었고, 2017년에 저스트(Just Inc.)로 바꾸었다가, 2020년 12월 경 현재의 이름인 잇저스트(Eat Just)로 변경하였다. 햄튼크릭이 출시한 저스트마요의 성공으로 회사 이름을 저스트로 바꾸었다가 원래부터 비슷한 이름의 브랜드를 운영하고 있던 제이든 스미스(Jaden Smith, 배우 윌 스미스의 아들)과 법적 분쟁이 있었기 때문으로 판단된다(Taylor, 2018 May 24).

조쉬 테트릭이 변호사 출신인 만큼 잇저스트는 특허에 관해 재빠른 움직임을 보여준다. 세계 최초의 세포배양육 특허는 네덜란드의 빌럼 반 에일런(Willem van Eelen)이 확보하였고, 빌럼 반 에일런은 이 특허를 미국의 사업가이자 친구인 존 베인(Jon Vein)에게 판매한다. 그리고 잇저스트가 2017년 9월 이 특허를 구매함으로써 세포배양육의 원천특허가 잇저스트의 손에 들어간 상태이다. 다행히도 특허가 다루는 범위가 한정적이고 잇저스트도 특별히 후속조치를 취하지 않아 이로 인한 법적 분쟁은 없을 듯하다.

잇저스트는 2016년 경 이미 식물성 대체식품 판매만으로 스타트업 유니콘(자산가치 1조원 이상)이 된 상태였다. 이로는 만족하지 못했는지 2016년 가을부터 세포배양육 연구개발을 시작하였고 2020년 12월 세계 최초의 세포배양육 식품허가에까지 이어지게 된다. 이 무렵 잇저스트는 1200리터 규모의 배양기 사진을



그림 9. 잇저스트의 세포배양육 홍보 영상(추후 원료세포를 수정란에서 확보하는 것으로 변경).

출처: 유튜브 저스트에그 채널

공개하는데, 일반적인 교반탱크(stirred-tank) 배양기를 사용, 세포를 부유배양 방식으로 배양하는 것으로 생각된다. 잇저스트의 세포배양육 개발부서는 현재 굿미트(GOOD Meat)이라는 자회사로 독립하여 운영되고 있다. 기존의 홍보자료에서는 닭의 깃털에서 세포를 얻어 세포배양육을 생산하는 것으로 되어 있는데, 굿미트의 홈페이지에는 닭의 수정란에서도 세포를 얻는다고 언급된다.

잇저스트에서 세포배양육 프로젝트를 주도하던 이탄 피셔(Eitan Fischer)가 독립하여 미션반스(Mission Barns)를 설립하였다. 미션반스는 현재 배양 지방의 생산에 집중하고 있다.

2) 업사이드푸드(Upside Foods)

2015년 설립되었으며 미국 샌프란시스코에 본사가 있다. 2015년 미네소타 대학병원의 심장전문의 우마 발레티(Uma Valeti)가 생물학자인 니콜라스 제노비스(Nicholas Genovese)와 함께 설립하였다. 누적투자액은 약 2100억 원이며 2020년 1월에 시리즈 B 투자를 유치하였다. 투자자 중 유명인들이 이름이 많이 보이는데 빌 게이츠, 리차드 브랜슨, 수지 웰치(잭 웰치의 부인), 김벌 머스크(일론 머스크의 동생), 카일 보그트(자율주행 자동차 회사 크루즈의 공동창업자) 등이다. 카길, 타이슨, 버진, 소프트뱅크, 타마섹(싱가포르 국영 투자회사) 등 유명 기업들의 투자도 유치하였다. 최초의 사명은 크레비푸드(Crevi Foods), 이후 멤피스미트(Memphis Meats), 그리고 2021년 5월에 현재의 사명으로 변경하였다.

특허를 살펴보면 근육세포를 보조물질에 부착시킨 후 수백 마이크로미터 두께의 시트(sheet) 형태로 키워내는 핵심기술을 가지고 있다(PCT/US2020/034949). 관련하여 YAP1 등의 신호전달 체계를 조절하여 세포배양육 시트의 두께를 두껍게 하는 방법 등도 언급된다(PCT/US2018/031276). 지지체를 사용하지 않고 세포배양육 시트를 여럿 모아서 세포배양육 제품을 만들려는 것으로 파악되는데, 미국 온라인 매체 쿼트(Quartz)의 체이스 머디(Chase Murdy)가 시식 후 남긴 평에 의하면 근섬유의 식감이 명확하게 느껴진다고 한다. 체이스 머디는 업사이드푸드를 방문하기 몇 달 전 잇저스트의 제품도 시식한 적이 있는데 잇저스트의 제품에 대해서는 그러한 평을 하지 않았다(Purdy, 2020, p.133-134).

인상적이게도, 세포배양육의 장기 보관 및 유통이 가능하다는 것을 강조하기 위해 미생물 도말 검사를 진행한 적이 있다. 일반적인 쇠고기와 돼지고기에서 미생물이 배양되었지만 세포배양육에서는 미생물이 검출되지 않았다.

업사이드푸드가 보유하고 있는 특허 중에는 유전자 조작 기술 관련된 것도 있다. CRISPR 유전자가위를 통해 세포를 최소의 조작으로 불멸화시키는 방법(PCT/US2017/013782), 글루타민 합성효소 과발현을 통해 대량배양 시 생산량을 늘리는 방법 등이다(PCT/US2018/042187). 글루타민은 세포 성장에 필수적인 아미노산이지만 대량배양을 염두에 두면 골치 아픈 존재인데, 배양액 내의 글루타민이 저절로 독성물질인 암모니아로 변한다는 단점 때문이다. 글루타민 합성 효소를 근육세포에 과발현시키면 배양액에 글루타민을 안 넣거나 적게 넣어도 되고, 글루타민 분해 산물인 암모니아의 농도도 낮아져 근육세포를 더 높은 밀도로 키워낼 수 있다. 해당 특허는 가축의 근육세포를 배양기 내에서의 대량으로 배양하기 위한 목적이라고 판단된다.

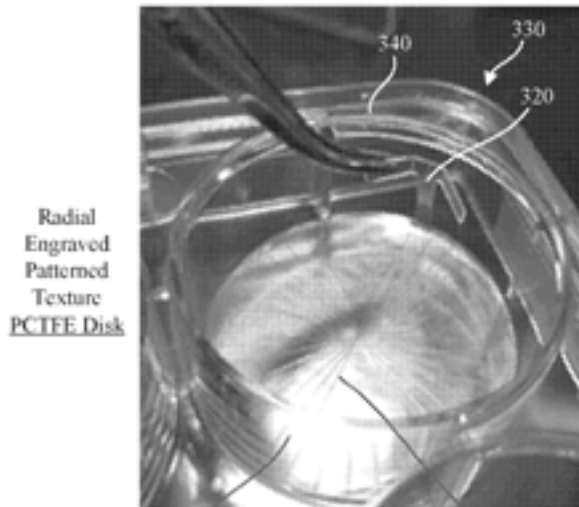


FIG. 3B

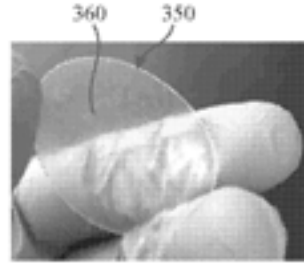


FIG. 3C

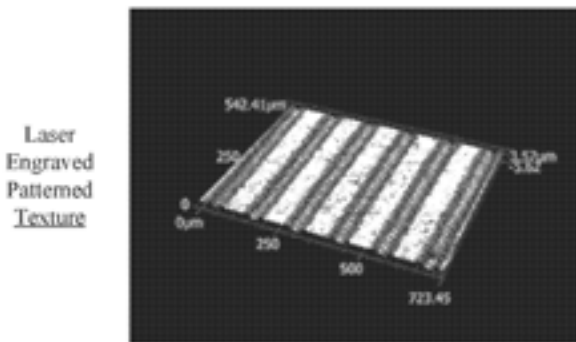


FIG. 5C

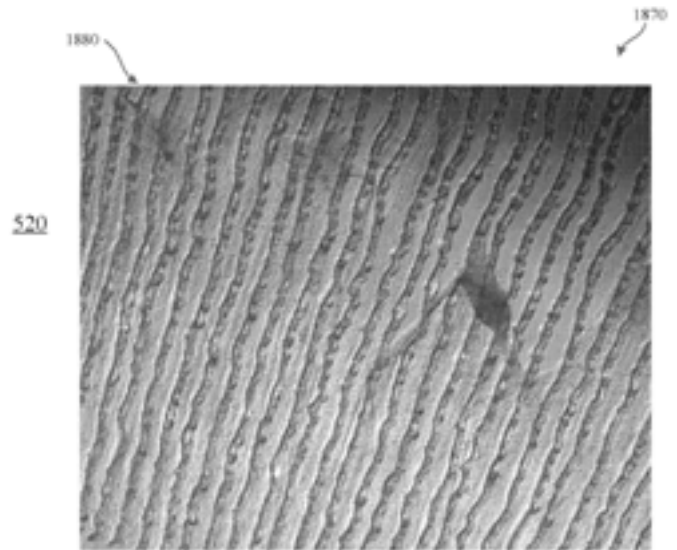


FIG. 18C

그림 10. 업사이드푸드의 시트 형태 세포배양육 배양기술

출처: PCT/US2020/034949

3) 알레프팜스(Aleph Farms)

2017년 이스라엘 르호봇에서 연쇄 창업자인 디디에 토비아(Didier Toubia)가 테크니온 공대 솔라미트 레벤버그(Shulamit Levenberg) 교수와 함께 창업하였다. 이스라엘의 식품 기업인 스트라우스(Strauss)가 창업 인큐베이팅 시기부터 함께 하였고, 시드 투자금도 스트라우스가 제공하였다. 현재 누적투자액은 약 1400억 원에 달하며, 2021년 7월 시리즈 B 투자를 유치하였다. 카길, 타이 유니온, BRF, CJ 제일제당 등 식품 기업의 투자가 활발하다. 2021년 9월에 배우이자 환경운동가인 레오나르도 디카프리오가 투자에 참여하고 자문직으로 위촉되었다.

2020년 3월에 네이처 자매지인 네이처푸드(Nature Food)에 투고한 논문을 통해 세포배양육 제조기술을 상당부분 공개하였다. 이 때 대두박(textured soy protein)으로 만든 지지체를 사용하여 세포배양육을 만들 수 있다는 컨셉을 제시하였다. 콩기름을 짜고 남은 물질인 대두박에 소의 근육줄기세포를 배양하여 세포배양육을 만들고 시식까지 하는 과정이 논문에 담겨있다. 소의 근육줄기세포를 지지체에서 배양해보면 근육분화가 진행됨에 따라 그 힘을 버티지 못하고 지지체가 부스러지는데, 혈관의 평활근세포(smooth

muscle cell)을 함께 배양하여 이를 방지할 수 있다는 사실도 발견하였다. 3차원 배양 환경인 지지체에서 근육분화의 모습을 사진에 담았다는 점에서도 높은 평가를 받고 있다. 다만 대두박 자체가 세포 부착이 어려운 재질이라 동물성 고비용 재료인 피브린젤을 섞어서 사용해야 한다는 한계도 있었다(Ben-Ayre et al., 2020).

2021년 2월에는 3D 프린팅 기술로 제작한 실제 스테이크와 흡사한 형태의 세포배양육을 공개하였는데 세포주가 아닌 일차 배양한 세포(non-GMO, non-immortal)를 이용하여 제작했다고 밝혔다. 이 정도 크기의 스테이크를 세포주를 쓰지 않고 만들었다면 근육줄기세포를 체외에서 장기간 배양할 수 있는 기술을 확보한 상태일 가능성이 매우 높다(Ho, 2021 Feb 10).

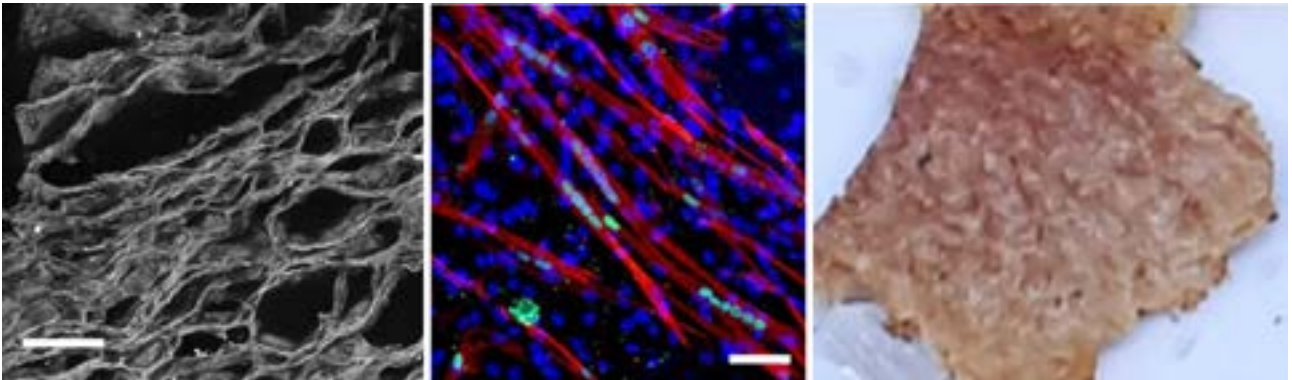


그림 11. 알레프팜스의 대두박을 이용한 세포배양육(좌측부터 빈 대두박, 세포가 자라는 중인 대두박, 완성된 세포배양육)

출처: Ben-Ayre et al., 2020



그림 12. 알레프팜스가 공개한 3D 프린팅 세포배양육 스테이크

출처: Ho, 2021 Feb 10

4) 모사미트(Mosa Meat)

마크 포스트(Mark Post)가 지인(Peter Verstrate)과 2015년에 공동창업하였고 본사는 네덜란드 마스트리히트에 있다. 2021년 10월 말 현재 누적투자액은 약 1100억 원에 달한다. 2021년 2월에 시리즈 B 투자를 유치하였고, 일본의 미츠비시 상사, 유럽의 벨 푸드 그룹 등이 주요 투자자이다. 최근에 레오나르도 디카프리오도 투자자로 참여하였다. 마크 포스트 교수는 2013년 세계 최초의 세포배양육 시식회를 개최한 바 있는 자타공인 세포배양육 분야의 선구자라 할 수 있다. 마크 포스트 교수의 연구팀 또한 이미 2009년에 실험용 마우스에서 근육줄기세포를 분리, 체외에서 근육의 분화가 가능함을 학계에 보고한 바 있다 (Boonen et al., 2009).

네덜란드는 세포배양육의 대부인 빌럼 반 에일런(Willem van Eelen) 등의 영향으로 세포배양육에 대한 연구가 진행되고 있던 나라이다. 세계 최초의 시식회가 네덜란드인인 마크 포스트의 손으로 빛어진 것도 충분히 이해가 된다. 그러나 놀랍게도 세포배양육 시식회를 뒤에서 후원한 것은 미국의 자본이었다. 미국에서는 세포배양육 썬크탱크인 뉴하비스트(New Harvest)가 오래 전부터 활동하고 있었는데, 미래 식량 문제에 관심을 가지고 있던 구글 창업자 세르게이 브린(Sergey Brin)을 마크 포스트 교수와 연결시켜준다.

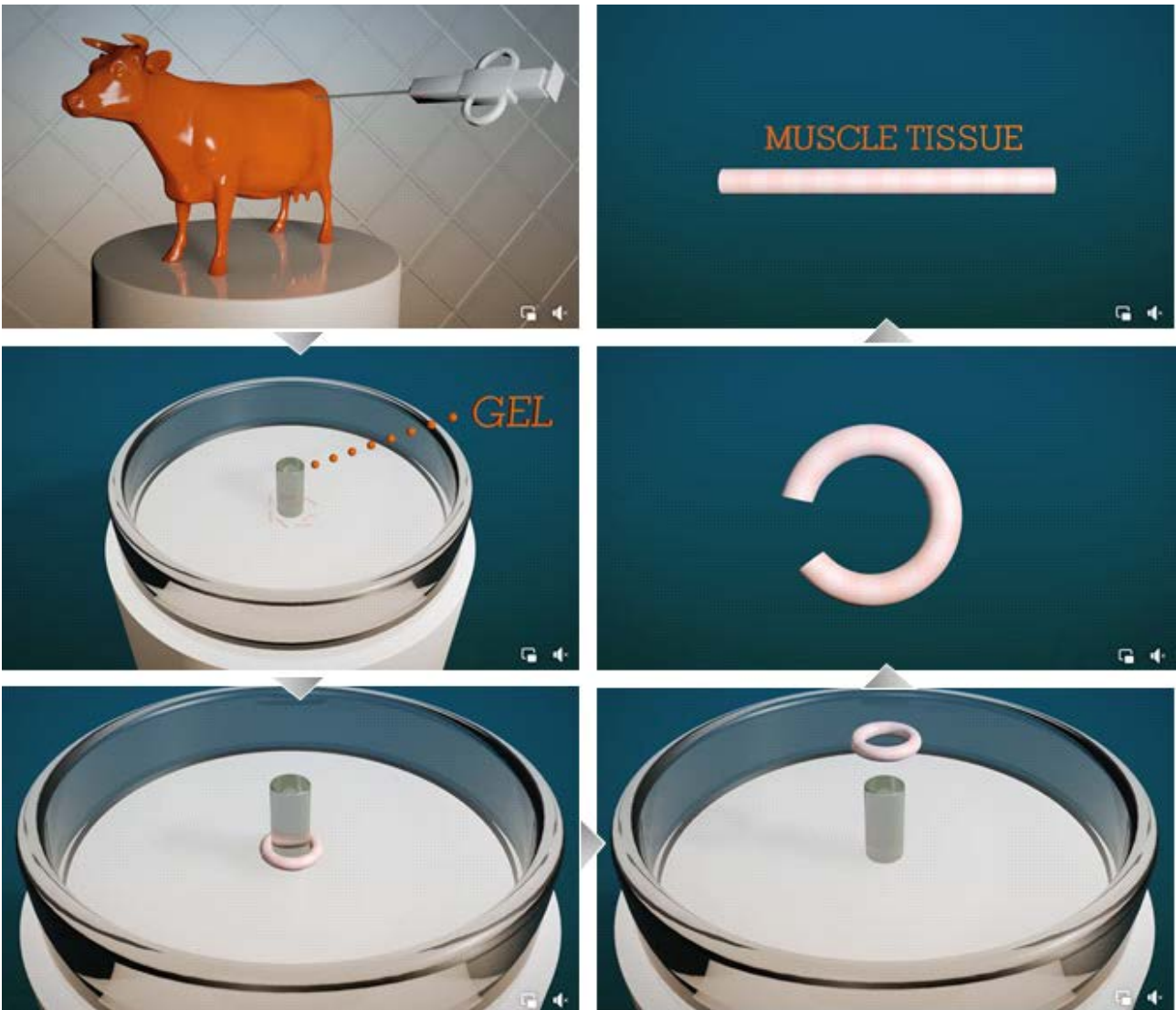


그림 13. 모사미트의 근육링 생산 방법

출처: 모사미트 유튜브 채널

마크 포스트 교수는 세르게이 브린의 연구비 지원으로 약 2년에 걸친 세포배양육 프로젝트를 시작하게 된다. 2013년의 세포배양육 시식회는 영국 BBC 방송을 통해 전 세계에 알려졌고(BBC News, 2013 Aug 5) 이는 세포배양육이 실제 만들어질 수 있다는 개념을 전 세계인의 뇌리에 심어주었다. 이후 마크 포스트 교수는 2015년 모사미트를 창업하며 그 행보를 계속 이어가고 있다. 빠른 산업화에 치중하기보다는 학문적 깊이가 있는 연구를 진행하고 이를 통해 특허를 축적, 라이선스 사업을 하겠다는 사업모델을 가지고 있다.

모사미트의 논문과 특허를 살펴보면 주로 도축된 소의 근육에서 근육줄기세포(myosatellite cell)을 분리, 이를 체외에서 증식 및 분화시켜 세포배양육을 생산하는 전략을 가지고 있다. 특히 근육분화를 위해 콜라겐 기둥 주변에 근육세포를 흩뿌리고 세포가 뭉쳐 근육과 유사한 형태로 분화한 링을 제작하는 방식을 선택함을 알 수 있다. 2013년 시식회에서 이 방법으로 만든 버거 패티를 공개하였는데, 이 날 패티들의 반응이나 이후 이어진 시식 행사에서의 기자들의 의견을 종합해보면 잇저스트나 퓨처미트 등의 방식보다는 식감이 기존 육류에 가까운 것으로 보인다. 다만 대량 생산이 어렵다는 한계를 가지고 있기 때문에, 특허를 살펴보면 근육링의 대량 생산 방안을 고안하고 있는 것으로 파악된다(PCT/EP2019/060744).

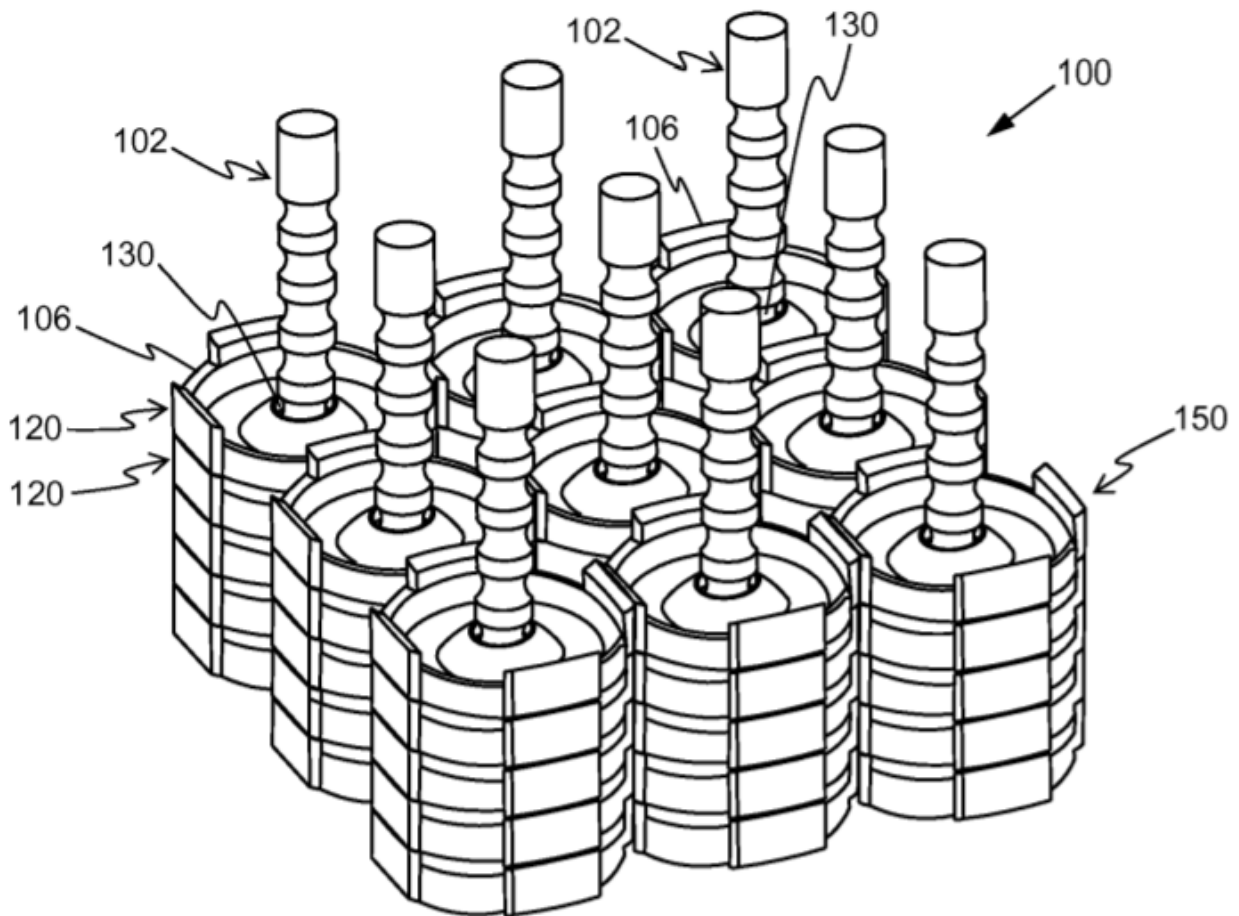


그림 14. 근육링의 대량 생산을 위한 다층 병렬 연결 구조물의 도면

출처: PCT/EP2019/060744

5) 퓨처미트(Future Meat Technologies)

예루살렘 헤브루 대학(Hebrew University of Jerusalem)의 야코프 나미아스(Yaakov Nahmias) 교수가 지인(Rom Kshuk)과 함께 2018년에 설립하였다. 본사는 이스라엘 예루살렘이 위치한다. 2021년 10월 말 현재 누적투자액은 약 720억 원이다. 주요 투자자로는 다국적 식품유통기업인 타이슨푸드가 있는데, 창업한지 1년 남짓한 퓨처미트에 약 165억 원을 투자한 바 있다. 당시 세포배양육 업계 시리즈 A 투자로서는 역대 2위의 기록이었다. 참고로 1위는 멤피스미트(현 Upside Foods)가 2017년에 유치한 약 185억 원이었다. 물론 지금은 전체적인 투자 규모가 커져서 이보다 시리즈 A 투자 유치금이 더 큰 세포배양육 회사가 많아졌다. 예를 들어 2021년 9월에 시리즈 A 투자를 유치한 미국 뉴에이지미트(New Age Meat)는 270억원 정도를 투자받았는데, 국내기업인 한화솔루션이 투자를 주도했다(Hall, 2021 Sep 28).

퓨처미트의 독특한 점은 자연적으로 불멸화된 섬유아세포(naturally immortalized fibroblast)의 사용이다. 세포배양 기간 동안 일어나는 자연적인 단일서열 변이를 허용하고, 이를 통해 증식 속도가 빠르고 장기간 배양이 가능한 세포주를 얻어 사용한다. 관련 특허를 살펴보면 닭에서 얻은 섬유아세포(fibroblast)를 지속적으로 배양하면서 성장 속도가 빠르고 무혈청 조건에 적응하여 생존한 세포(아마도 변이로 인한)를 선별하여 세포주를 제작하는 것으로 파악된다(PCT/IL2017/050790. 식물의 품종개량과 유사하다고 주장하며 발생한 변이의 안전성에 대한 검증을 시행했다고 하지만 아직 외부로 공개된 안전성 관련 자료는 없다. 섬유아세포가 아닌 근육줄기세포에서는 세포주 확립에 성공하지 못한 듯하다.

섬유아세포는 근육조직을 만드는 세포가 아니므로 교차분화(transdifferentiation)을 유도해야만 근육과 유사한 상태로 변화시킬 수 있다. 퓨처미트를 포함하여 어느 업체도 아직 GMO 기술 사용없이 근육으로



그림 15. 퓨처미트가 공개한 세포배양육 생산 시설 전경

출처: Marston, 2021 Jun 24

교차분화 시키는 것에는 성공하지 못한 것으로 파악된다. 다만 퓨처미트는 상대적으로 쉬운 지방으로의 교차분화에는 성공하여, 식품 성분만을 이용하여 섬유아세포를 지방으로 분화시킨다고 2020년 11월 더스푼(The Spoon)과의 인터뷰에서 밝혔다(Coffey, 2020 Nov 29) 퓨처미트는 세포주를 빨리 확보한 만큼 배양기 운용 경험이 풍부하여 600리터 내외의 배양기를 장기간 운용하고 있었다. 2021년 6월에는 이를 병렬로 확장하여 세계 최초로 대규모 배양시설을 완공하였다고 공표하는데 하루 생산량은 닭가슴살 배양육 500킬로그램에 달하며 생산단가는 킬로그램 당 37달러 수준이다(Wilder, 2021 May 11; Marston, 2021 Jun 24). 근육으로의 교차분화에 성공하였다는 기사 또는 특허가 없는 것으로 보아 분화하지 않은 단일부유 섬유아세포(single cell suspension of fibroblasts)의 형태일 가능성이 높다.

단일부유 섬유아세포라 하더라도 기존의 식물성 대체육에 동물성 원료를 첨가한 하이브리드 대체육의 생산이 가능하며, 특히 퓨처미트가 보유하고 있는 지방 교차분화 기술과 결합하여 배양 지방, 동물 세포, 식물성 원료의 하이브리드 대체육을 충분히 생산할 수 있는 수준이라 판단된다. 2021년 7월 다국적 식품기업 네슬레(Nestle)와의 협업을 발표했는데, 식물성 대체육 제품군을 늘려가고 있는 네슬레와 상호 시너지가 있을 것으로 생각된다(Poinski, 2021 Jul 14).

6) 슈퍼미트(Supermeat The Essence of Meat, 이하 SuperMeat)

2015년 설립된 회사로 이스라엘 르호봇에 본사가 있다. 이도 사비르(Ido Savir)가 지인들(Shir Friedman, Koby Barak, Yaakov Nahmias)과 함께 설립하였다. 공동 창업자 중 야코프 나미아스 교수는 10개월 만에 퇴사하고 퓨처미트를 창업한다. 특이하게 클라우드 펀딩을 통해 초기 자본을 확보하였으며 이후 유럽 최대의 가금류 유통회사인 PHW로부터 투자를 유치하였다. 누적투자액은 공개되어 있지 않다. 잇저스트, 퓨처미트와 유사하게 닭의 섬유아세포를 부유배양하여 식물성 대체육과 혼합된 하이브리드 세포배양육을 생산하고 있다.



그림 16. 슈퍼미트의 시식용 식당 'The Chicken'의 전경

출처: Mandel, 2021 Jun 22

수퍼미트의 특이한 점은 시식용 레스토랑 “더 치킨(The Chicken)”의 운영이다. 이 레스토랑은 2020년 11월 초 최초 개장하였다가 코로나의 확산으로 휴업 후 21년 4월에 재개장하여 지금도 운영되고 있다. 식품 허가를 받지 않은 상태이기 때문에 판매를 할 수는 없으며 예약 접수 후 선별하여 시식을 할 수 있는 공간이다. 레스토랑의 한쪽 벽은 유리로 되어있으며 그 너머로 배양육의 생산과정을 볼 수 있다. 공개된 레스토랑의 전경이나 수퍼미트에서 공개한 자료를 보면 대략 1000리터 규모의 배양기를 운영하고 있는 것으로 보인다(Mandel, 2021 Jun 22).

수퍼미트의 특허를 살펴보면 근섬유 형성보다는 동물성 단백질원으로 세포를 사용하려는 의도가 읽힌다. 즉, 분화하지 않은 세포를 식물성 대체육에 혼합하여 사용하고자 한다고 명시되어 있으며, 이때 동물 세포의 혼입비율은 30%를 넘지 않는다고 한다. 동물성 재료(세포)를 10% 내외만 추가해도 풍미가 좋아진다는 내부 연구자료도 특허에 언급된다(PCT/IL2018/050398). 해당 특허문건에는 닭의 배아줄기세포주를 세포의 원료로 사용하는 아이디어가 언급되지만 현재는 그 방식을 택하지 않고 자연적 불멸화 세포주를 사용하기로 결정한 것으로 보인다.

7) 미트테크(MeaTech 3D)

이스라엘의 뉴지오나(Ness Ziona)에 본사가 있고 샤론 피마(Sharon Fima)가 현재 대표로 있는 세포 배양육 회사 중 최초의 상장사이다. 미트테크의 전신인 도코메드(DocoMed Ltd.)라는 회사는 2018년 5월에 설립되었지만, 추후 오펙트라(Ophectra)라는 부동산 및 투자회사와 합병되면서 공식적인 설립은 오펙트라 설립일인 1992년이다. 이스라엘 TASE에 2020년 4월 16일, 미국 NASDAQ에 2021년 3월 12일 상장되었다. 샤론 피마는 3D 프린터 회사인 나노디멘션(Nano Dimension)을 창업한 이력이 있는데, 이를 반영하듯 3D 프린팅을 통해 두터운 고급 세포배양육을 생산하겠다는 전략을 초기에 강조했다. 미국 나스닥 상장 직전 벨기에의 피스오브미트(Peace of Meat)를 합병하였는데, 피스오브미트는 중간엽줄기세포(mesenchymal stem cell)를 지방으로 교차분화(transdifferentiation) 시키는 기술을 가지고 있다. 현재 미트테크는 피스오브미트의 기술을 바탕으로 배양 지방의 대량 생산에 초점을 맞추고 있는 것으로 파악된다. 현재 미트테크의 공정으로 배양기 1회 운영 당 700그램의 배양 지방을 생산할 수 있다고 한다(Wack, 2021 Sep 15).



그림 17. 미트테크가 공개한 배양 지방 사진
출처: 미트테크 홈페이지

5. 세포배양육 관련 자주 묻는 질문(FAQ)

1) [배경] 세포배양육은 정말 친환경적인가?

기후변화는 우리가 체감할 수 있을 만큼 가까이 와 있다. 하지만 식량 생산으로 인해 발생하는 온실가스는 필수 불가결하여 제로(0)가 될 수가 없다. 온실가스를 가장 적게 배출하고 기후변화 기여도가 가장 적은 식품을 선택하는 것이 우리에게 주어진 선택지다. 세포배양육이 친환경적이라면, 기존 육류에 비해 세포배양육의 기후변화 기여도가 낮다는 전제가 사실이어야 한다. 세포배양육을 찬성하는 사람들은 근육만을 배양하므로 가축에 비해 생산에 필요한 에너지가 적게 소모되고 따라서 온실가스도 적게 배출, 기후변화 기여도가 낮다고 한다. 반대론자들은 세포배양 자체가 ‘고에너지 사용 기술’이므로 큰 차이가 없거나 온실가스를 더 배출한다고 주장한다.

학계에서 이 문제에 대해 본격적으로 다루기 시작한 시기는 2011년, 영국 옥스퍼드 대학의 한나 투오미스토(Hanna Tuomisto) 교수팀의 논문이 발간되면서부터다. 투오미스토 교수는 세포배양육 찬성론자로 기존 축산업 대비 최대 45%의 에너지 절약, 온실가스 배출 최대 96% 감소, 물 사용량 96% 감소, 토지 사용량 99% 감소라는 수치를 제시하였다(Tuomisto H et al., 2011). 세포배양육에 관심을 가지고 관련 자료를 찾아본 사람이라면, 한 번 정도는 위의 숫자를 접한 적 있으리라 생각한다. 반면 같은 대학의 존 린치(John Lynch) 교수팀은 여러 세포배양육 대량 생산 시나리오 가운데 일부는 오히려 기존 육류 생산에 비해 기후변화 기여도가 더 크다는 의견을 제시하였다(Lynch et al., 2019). 린치 교수는 이에 대해 기존 축산업에 의해 발생하는 주요 온실가스가 메탄이지만 세포배양육은 주로 이산화탄소를 배출하기 때문이라 해석한다. 참고로 메탄의 반감기는 12년, 이산화탄소는 수백년이다.

린치 교수팀의 연구는 세포배양육 반대론자에게 호재였다. 언론에는 세포배양육이 기후변화에 오히려 독이 된다는 자극적인 제목의 기사들이 실렸다. 린치 교수팀의 논문은 자세히 읽어보면 상당히 객관적인 논지를 가지고 있다. 네 종류의 세포배양육 생산 시나리오 가운데, 에너지 효율이 가장 낮은 모델(d)은 약 200-400년이 지난 후부터 기후변화 기여도가 기존 축산업을 능가하기 시작한다(숫자의 범위가 넓은 이유는 육류 소비량 예측에도 3가지 시나리오가 사용되기 때문). 이 논문에서는 난방하며 세포를 배양하는 과정에서 배출되는 이산화탄소가 주범으로 지목된다.

어류의 세포는 일반적인 가축의 세포보다 상온에 가까운 온도에서 자란다. 린치 교수팀의 논문에 어류 세포의 배양에 관한 가정은 포함되지 않는다. 또한 에너지 효율이 높은 2개의 모델(a, b)은 어떤 경우라도 기존 축산업 대비 온실가스를 적게 배출하고 기후변화 기여도가 낮다. 이런 경우 세포배양육은 친환경적이라

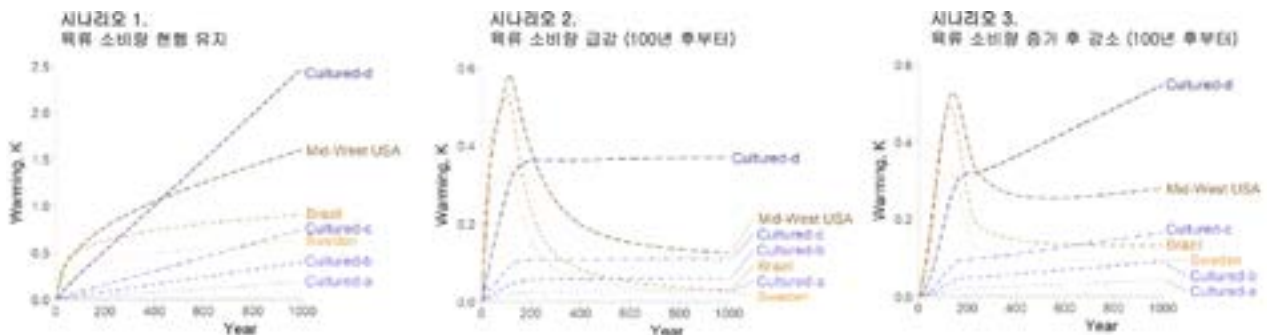


그림 18. 존 린치 교수팀의 기후변화 기여도 분석. 전통 축산업(미 중서부, 브라질, 스웨덴 모델) 및 세포배양육 산업(a, b, c, d 모델)에 의한 향후 1000년간 대기온도 상승폭을 예측하여 상호 비교하였다. 인류의 육류 소비 시나리오를 3 가지로 구분하여(현행유지, 급격감소, 증가 후 감소) 따라 분석하였다.

출처: Lynch et al., 2019

할 수 있다. 즉 린치 교수팀의 논문은 세포배양육을 생산하는 공정이 앞으로 어떻게 발전하느냐에 따라 기존 축산업 대비 친환경적일 수도, 그 반대일 수도 있다는 결론을 내린다. 아쉽게도 이에 대해 자세히 다룬 언론은 거의 없다.

2) [배경] 세포배양육 생산기술은 어떻게 발달하고 있나?

에너지 효율이 가장 높은 세포배양육 생산 모델은 앞서 언급한 투오미스토 교수의 2011년 논문을 기반으로 한다. 투오미스토 교수가 생각했던 세포배양육 생산 모델은, 현재 얼마나 구현되었을까? 참고로 이 논문이 출간된 것은 세계 최초 세포배양육 시식 행사가 있기 2년 전이다. 투오미스토 교수는 세포, 배양액, 배양기 등 세포배양육의 주요 기술요소에 대해 상당한 이해도를 가지고 있었으며 현재의 세포배양육 연구 개발자 시각으로 보기에 상당히 정확한 예측을 했다고 판단된다.

세포에 관련하여 투오미스토 교수는 배아줄기세포주를 사용한다고 가정했다. 논문에서 명확하게 밝히지는 않지만 지지체에 대한 언급이 없는 것을 보아 대형 배양기에서 부유 상태로 증식 및 분화하는 형태를 상상했던 것 같다. 배양기의 에너지 사용량을 계산하기 위해 인용한 참고문헌을 보아도 부유배양을 염두에 둔 것으로 추정된다. 투오미스토 교수가 논문을 작성할 당시에는 상상에 불과했지만, 가축의 배아줄기세포주는 2018년 소(Bogliotti et al., 2018), 2020년 돼지(Choi et al., 2019)로부터 확립되었다. 하지만 이들 배아 줄기세포주를 대형 배양기에서 충분히 경제적으로 배양하는 수준에는 도달하지 못하였다.

배양액에 관한 가정은 2011년 당시에도 상당 부분 실제 구현이 되는 상황이었다. 배양액의 구성 성분 중 비타민은 그때도 지금도 식용으로 판매되고 있다. 성장인자 또는 호르몬 또한 유전자 재조합을 통해 생산되며, 대표적인 예로 인슐린의 경우 1973년 최초의 생산이 이루어졌고 1982년에 의약품으로 승인을 받아 지금도 널리 사용되고 있다. 인슐린은 대량 생산을 통해 점점 가격이 하락하여 지금은 밀리그램 당 370원 정도에 생산되고 있다(Specht, 2020). 정제되어 판매되는 기성품을 구매하여 배양액을 제조한다면 경제적이지 않으므로, 투오미스토 교수는 광합성 능력을 보유한 남조류를 별도로 배양하고 그 추출물에서 당류, 아미노산, 무기질, 일부 비타민 등을 보충하는 개념을 제시하였다. 그리고 2021년 3월 한국해양과학기술원에서 보고한 연구결과는 광합성 가능한 스피롤리나 추출물이 실제로 그 역할을 수행할 수 있음을 밝혔다(Jeong et al., 2021).

배양기는 가축 세포 배양에 1000리터 규모 스테인리스 스틸 소재의 배양조를, 남조류 배양에 콘크리트 노천 배양조를 사용한다고 가정하였다. 대형 배양기에서의 가축 세포 배양은 2021년 미국의 잇저스트가

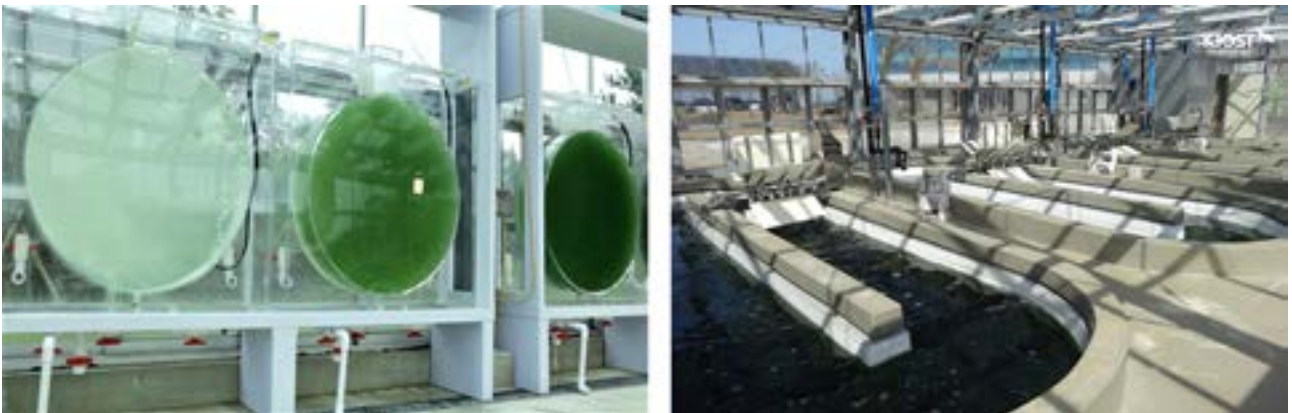


그림 19. 한국해양과학기술원이 운용 중인 밀폐형(좌) 및 노천형(우) 남조류 배양조

출처: 한국해양과학기술원 블로그

1200리터 규모의 부유 배양기를 공개하며 현실이 되었다. 퓨처미트, 수퍼미트 등의 업체도 유사한 형태의 부유 배양기를 현재 운영하고 있다. 남조류 배양은 투오미스토 교수의 예측처럼 콘크리트 노천 배양조도 있고, 기후의 영향을 적게 받는 밀폐형 배양조도 운용되고 있다(한국해양과학기술원 블로그).

3) [배경] 세포배양육은 식물성 대체육과 어떻게 다른가?

식물성 대체육은 주로 식물성 재료를 이용하고, 세포배양육은 주로 동물의 세포를 사용한다. 대부분의 차별점은 재료의 차이에 기인한다. 둘 다 기존 육류와 동일한 맛을 내는 것은 불가능하다고 판단된다. 동물의 조직, 동물의 세포, 식물성 재료라는 명백한 원료 물질의 차이가 있기 때문이다.

일단 법적으로 영양성분표로 표기해야 하는 영양성분은 거의 유사하리라 생각된다. 식물성 대체육 제품은 대부분이 기존 육류와 유사한 칼로리, 단백질, 지방 수치로 맞추어져 출시된다(Davis, 2020 Nov 13). 물론 포화지방과 콜레스테롤 등 기존 육류에서 제거하고 싶은 성분들은 첨가하지 않는다. 세포배양육도 출시된다면 이와 유사한 영양성분에 맞추어져 출시될 것이다.

이스라엘의 세포배양육 회사인 수퍼미트는 기존 계육(닭다리살)과 자사 세포배양 닭고기의 영양성분을 공개한 적이 있다. 칼로리, 단백질, 지방, 그리고 PDCAA 스코어 등 대부분의 영양성분 수치가 실제 닭고기와 흡사하다. 주목할 만한 부분은 세포배양 닭고기의 아미노산 종류별 비율이다. 그 값이 실제 닭고기와 유사한데, 아마 이 부분이 식물성 대체육과 결정적인 차이가 되리라 생각한다.

식물성 대체육의 경우 아미노산 종류별 비율과 함량이 기존 육류와 다르다(De Marchi et al., 2021). 또한 영양성분표에는 나오지 않는 대사체들을 분석한 결과, 분석이 가능했던 190개 대사체 중 171개가 달랐다는 보고도 있다(van Vliet et al., 2021). 무려 90%에 달하는 수치이다. 아직 세포배양육의 대사체를 분석한 논문 또는 공개된 자료가 없기 때문에 단정하기는 어렵지만, 원재료의 특성 상 세포배양육은 식물성 대체육에 비교하여 기존 육류와의 유사도가 높을 것으로 예측된다. 물론 기존 육류와 완전히 동일할 리는 없다.

세포배양육의 육류 유사성이 재료의 차이에 기인한다면(식물성 vs 동물성), 최종 제품을 구성하기 위해 사용되는 첨가물의 양과 종류도 식물성 대체육에 비해 적으리라 예상된다. 예를 들어 식물성 대체육인 비욤드미트에는 분말셀룰로스, 말토덱스트린, 글리세린, 건조효모, 아라비아검, 변성전분, 카놀라유, 변성전분, 안나토색소, 코코넛오일, 감자전분, 비트과즙추출물 등이 포함되어 있다. 세포배양육에 포함될 동물성 원료(배양한 세포)는 이 중 상당 부분을 불필요하게 만들 것으로 생각된다. 세포배양육의 제조 방식도 다양하고 동물성 원료의 포함 비율도 다양할 것이기 때문에 아직은 단정하기 힘들다.

4) [세포] 세포배양육의 원료세포는 안전한가?

세포배양육의 핵심은 세포를 몸 밖에서 키워 그 수를 불리는 것이다. 안전성과 관련된 질문의 핵심은 첫 번째는 세포가 분열하는 과정에서 DNA 복제의 오류(변이)가 생기느냐이고, 두 번째는 변이로 인해 만들어진 비정상적 단백질이 먹었을 때 위험한지 여부이다. 결론부터 말하자면 변이는 발생하지만 위험한 변이는 극히 드물 것으로 생각된다. 따라서 안전성 담보의 초점을 변이 자체가 아니라 변이가 유발하는 기능적 변화에 맞추는 것이 옳다.

세포가 분열하는 과정은 상당히 정교한 설계도(genome)를 복사하는 작업이 수행되어야 한다. 인간의 경우 30억 개의 DNA 염기서열이 유전정보를 담고 있는 설계도 역할을 한다. 설계도에 오류가 생기면 비정상인 부품(단백질)이 생산된다. 일부 비정상 부품은 완제품의 기능에 중대한 결함을 가져온다. 암 발생이

표 1. 기존 육류와 식물성 대체육 2종의 영양성분 비교

	쇠고기 패티	임파서블버거	비욘드미트
칼로리 (kcal)	287	240	260
단백질 (g)	19	19	20
총 지방 (g)	23	14	18
포화지방 (g)	9	8	5
트랜스지방 (g)	1.3	0	0
콜레스테롤 (mg)	80	0	0
총 탄수화물 (g)	0	9	5
식이섬유 (g)	0	3	2
당류 (g)	0	1	0

출처: Davis, 2020 Nov 13

표2. 기존 육류와 식물성 대체육의 아미노산 분석결과

아미노산 이름	기존 육류 내 함량 (mg/100g)	식물성 대체육 내 함량 (mg/100g)	함량 차이의 통계적 유의성 여부
알라닌	1096.24	686.97	√
아르지닌	1085.62	1060.73	
아스파르트산	1581.08	1925.04	
시스테인	154.13	251.91	√
글리신	1305.27	689.43	√
글루탐산	3027.17	4351.61	√
아이소류신	554.97	507.7	
히스티딘	582	591.48	
류신	1164.39	1214.58	
라이신	1391.19	927.82	
메싸이오닌	300.11	13.76	√
페닐알라닌	661.94	899.28	
프롤린	855.61	774.66	
세린	672.63	902.61	
타이로신	481.56	591.16	
트레오닌	686.22	572.28	
트립토판	102.51	108.28	
발린	612.1	559.02	

출처: De Marchi et al., 2021(표 S4를 단순하게 재구성)

가장 대표적인 예이다. 어느 정도의 오류가 축적되면 위험하다고 말할 수 있을까? 변이가 생기면 치명적인 유전자 부위가 특별히 따로 있을까? 아직 명확한 답은 없으며 앞으로 하나씩 풀어가야 한다.

변이를 검출해내는 방법에 대해서도 생각할 필요가 있다. 인간을 기준으로 설계도(genome)는 23쌍의 폴더(염색체)에 나뉘어 보관된다. 설계도에 오류가 있는지는 크게 두 가지 방법으로 확인할 수 있다. 핵형 분석(karyotyping) 기술을 통해 폴더(염색체)의 중첩이나 삭제가 있는지 보는 방법과, 차세대 시퀀싱(next generation sequencing, NGS) 기술을 사용해서 정밀하게 글자(단일서열) 하나씩을 살펴보는 방법이다. 핵형분석은 저렴한 비용으로 빠른 확인이 필요할 때 유용하지만 단일서열 변이는 알 수 없다는 단점이 있다. 반면 차세대 시퀀싱 기술은 단일서열 변이, 염색체 변이 모두 확인할 수 있지만 분석 비용이 높고 분석 결과의 해석도 까다롭다. 핵형분석은 십만 원, 차세대 시퀀싱은 백만 원 단위의 검사비용이 발생한다.

최근에는 단일세포 시퀀싱(single-cell sequencing) 기술이 발전하면서 하나의 세포로도 염기서열을 살펴볼 수 있게 되었다. 차세대 시퀀싱 기술은 수만~백만 개 단위의 세포군에서 염기서열을 얻어 분석하기 때문에 변이가 일어난 세포가 있더라도 전체 세포 중 어느 정도의 비율이 되지 않으면 검출이 불가능했다. 단일세포 시퀀싱은 세포 각각의 염기서열을 분석할 수 있어 훨씬 높은 정밀도를 자랑한다. 하지만 그만큼 가격도 비싸고 분석 방법도 복잡하여 천만 원 단위의 검사비용이 든다. 가격 뿐 아니라 분석기술의 특징이 세포배양육 품질관리에 사용하기에는 적절하지 않은데, 후술하도록 하겠다.

일단 세포의 단일세포/염색체 변이는 위의 방법들을 이용하면 검출해낼 수 있다. 일단 염색체 변이는 상대적으로 쉽게 핵형분석으로 잡아낼 수 있다. 단일세포 변이는 핵형분석을 통해서도 검출할 수 없고 차세대 시퀀싱을 이용하면 변이된 세포의 비율이 높은 경우에 한정하여 잡아낼 수 있을 것으로 생각된다. 예를 들어 전체 세포배양육의 10% 이상을 변이된 세포가 차지하는 경우 등이다. 전체 세포 중 변이된 세포의 비율이 높은 원인은 성장 속도의 증가 등 세포의 기능적 변화가 수반되기 때문일 것이다. 우연히 동일한 변이가 10%의 세포에서 발생하는 것은 불가능하다.

이 부분이 매우 중요한데, 염기서열의 변이를 식품 위해성과 연결시켜 생각해서는 안 된다. 왜냐하면 기존 육류(근육조직) 내의 세포들 사이에서도 어느 정도 염기서열 변이가 일어나고 있기 때문이다. 이러한 사실은 비교적 최근에야 입증된 것으로, 단일세포 시퀀싱 기술이 발전한 후에야 가능해진 것이다. 조금 더 자세히 말하자면, 세포 하나의 염기서열 양만큼 극소량의 염기서열을 증폭할 때의 증폭 정확성을 향상시키는 기술(highly accurate single-cell multiple displacement amplification)이 발전한 후에야 가능해졌다고 말할 수 있다(Dong et al., 2017).

기존 육류, 즉 우리가 식품으로 섭취하는 가축의 근육에는 얼마나 많은 단일세포/염색체 변이가 존재할까? 가축의 근육세포를 단일세포 시퀀싱으로 분석한 논문이 정답이 되겠지만 아쉽게도 아직 보고가 없다. 하지만 인간의 다른 조직에서의 결과를 보면 어느 정도 답을 짐작할 수 있다. 놀랍게도 같은 조직 내의 세포들 사이에 수백에서 수천에 달하는 염기서열 변이가 존재하는 듯하다. 암이 아닌 정상 조직 내에서의 결과이다. 인간 혈액의 B세포를 단일세포 시퀀싱으로 분석해본 결과 한 사람의 B세포 사이의 변이가 무려 수백 개에 달했다. 노인에게는 이 숫자가 더 커지는데, 100세 가량 되면 B세포 사이 변이의 숫자가 수천 개까지 증가한다(Zhang et al., 2019). 간(liver)에서의 단일세포 시퀀싱 분석 결과도 유사한 수치를 제시한다(Brazhnik et al., 2020). 우리가 먹고 있는 기존 육류 내에도 서로 염기서열이 다른, 즉 변이가 일어난 세포가 많이 포함되어 있다는 뜻이다.

따라서 세포배양육의 안전성을 논할 때는 세포 변이의 여부보다는 위험한 변이가 생겼는지에 초점을 맞추어야 한다. 우리가 식품으로 거리낌없이 섭취하고 있는 기존 육류에도 변이된 세포는 포함되어 있다. 아프리카 초원에서 얼룩말 고기를 뜯고 있는 사자조차도 변이된 얼룩말 근육 세포를 먹고 있다. 싱가포르의 식품규제기관인 SFA는 이러한 사실을 일찌감치 인지하고 세포배양육의 안전성 평가 단계에서 세포의 변이 여부가 아닌 변이의 안전성 입증에 주안점을 두고 있다.

핵형분석은 세포배양육의 안전성 담보를 위해 가장 널리 사용되는 기술이 될 것으로 전망한다. 핵형분석을

통해 염색체 변이가 발견될 정도의 큰 변화가 발견된다면, 해당 변이로 인한 세포 기능의 변화가 위해성이 있는지 살펴보아야 할 것이다. 차세대 시퀀싱을 통해 ‘비율이 높은’ 단일서열/염색체 변이가 발견된다면, 마찬가지로 면밀하게 기능적 변화를 살펴보아야 한다. 단일세포 시퀀싱은 가격도 비싸지만 대중적으로 널리 쓸 만큼 증폭기술과 분석방법이 완성되어 있지 않아 세포배양육 안전성 평가에 사용하기 어렵다고 판단된다. 또한 단일세포 시퀀싱으로만 검출되는 수준의 변이라면 자연계에서의 수준과 큰 차이가 없기에 큰 문제가 되지 않을 것이다.

아직 관련 연구가 충분하지 않아 단정하기 어렵지만, 대부분의 세포배양육 원료세포는 체외에서 한 달가량 증식시키더라도 ‘위해성이 있는 변이’의 발생 가능성이 매우 낮다. 다만 앞서 언급한 분석법을 동원하여 실제 그러한지 면밀하게 살펴볼 필요가 있다. 식품안전 문제와 직결되기 때문이다. 변이의 여부보다는 변이로 인한 세포 기능의 차이에 주목하는 싱가포르 식품규제기관 SFA의 사례를 참고할 만하다.

5) [배양액] 배양액의 첨가물을 어느 수준까지 허용할 것인가?

배양액 제조를 위해 사용되는 성분 중 당류, 아미노산, 비타민, 무기질 등은 세포배양육 대량 생산에 적용하기에 큰 문제가 없으리라 생각된다. 모두 식용이 가능하며, 가격도 싸고, 공급량도 많은 물질이다. 소태아혈청, 성장인자 등 일부 성분은 안전성 관련하여 사용에 주의를 요구하는 부분이 있으며 가격도 비싸고 공급량도 쉽게 늘릴 수 없다. 세포의 증식 또는 분화를 촉진하는 화학물질들은 인공적인 것으로 심도 깊은 평가를 거쳐야만 배양액에 첨가할 수 있다.

우선 소태아혈청(fetal bovine serum)의 경우, 세포배양육을 생산하는 공정에 사용되더라도 식품으로서 안전성에 대한 논란은 없을 듯 하다. 식용으로 소의 혈청 또는 소의 피를 사용하는 나라들이 있으며, 세포배양육 최초의 식품허가를 받은 미국의 잇저스트도 소태아혈청을 사용하여 허가를 받았다. 국내 식품공전에 가축의 혈청이 등재되어 있지는 않지만, 축산물의 가공기준 및 성분규격에서 가축의 혈액을 식용 가능하다고 명시하기 때문에 혈액의 성분인 혈청도 필요시 식품공전에 등재될 수 있다고 본다. 세포배양육 생산자의 입장에서 소태아혈청을 사용하지 못하는 이유는 안전성 때문이 아니라 비용과 공급량 때문이다. 이에 대해서는 후술하겠다.

성장인자는 세포의 증식과 분화를 돕는 물질이며 다양한 장기나 조직에서 생산된다. 주로 단백질로 구성되지만 체내에서 합성된 화학물질인 경우도 있다. 성장인자의 한 종류인 각종 호르몬이 대표적인 예다. 성장인자는 배양액의 다른 성분들에 비해 분자량이 크고 구조가 복잡해 생산 비용이 높다. 성장인자를 사용하지 않고 세포가 잘 자라준다면 이상적이지만 현실적으로 불가능하다고 알려져 있다. 또한 세포의 종류에 따라 필요한 성장인자가 다르고, 같은 세포라도 증식이 필요할 때와 분화가 필요할 때 요구되는 성장인자의 종류와 양이 달라진다. 따라서 배양액의 저렴한 나머지 성분들을 기본 조성으로 하고, 성장인자를 별도로 추가하여 사용하는 경우가 많다.

성장인자는 유전자 재조합 기술을 이용하여 만드는 경우가 대부분이다. 대장균, 식용 효모, 동물 세포 등의 생산수단에 설계도(유전자)를 집어넣어 원하는 성장인자를 대량으로 분비하도록 한 후, 성장인자를 분리 정제하여 사용한다. 분리 및 정제하는 기술이 발달되어 있어 순도 높은 성장인자를 얻을 수 있고, 불순물에 대한 안전성 이슈는 거의 제기되지 않는다. 인슐린처럼 유전자 재조합 기술로 만든 단백질을 체내에 주사로 주입하는 경우를 생각하면 정제하는 기술은 충분히 갖춰졌다고 볼 수 있다.

세포의 신호전달체계를 조절하는 화학물질들은 우리 몸 속에 존재하지 않던 인공적인 것이다. 각각의 순도를 높인 것으로 사용해야 하며 최종 세포배양육 산물의 잔류량을 매우 낮게 관리해야 한다. 필요한 경우 의약품에 준하는 독성평가를 시행하게 될 것이다. 이로 인해 화학물질을 사용하는 세포배양육 제조 공정은

품질관리 비용이 증가하고, 식품허가에 필요한 기간도 증가한다. 때문에 세포배양육 업체의 입장에서는 화학 물질을 최소로 사용하고 식품 소재의 성분으로 최대한 대체할 필요가 있다.

6) [배양액] 소태아혈청 대체재의 개발은 왜 중요한가?

소태아혈청(fetal bovine serum)은 세포를 체외에서 배양하기 위해 널리 쓰이는 물질로 성장인자 등 세포가 자라는데 필요한 것들이 두루 들어있다. 이에 더하여 면역 반응을 일으키는 단백질도 거의 들어있지 않아 세포배양을 위한 최고의 물질이라 할 수 있다. 하지만 가격이 비싸고, 생산량이 한정적이며, 제조 배치마다 품질 편차가 있기 때문에 세포배양육의 대량 생산에 적합하지 않다.

특히 생산량에 대해 언급하고자 한다. 마크 포스트 교수의 2013년 세포배양육 시식회 당시 햄버거 패티(140그램) 하나 당 약 50리터의 소태아혈청이 필요했다고 한다. 세포배양육 킬로그램 당 필요량은 약 350리터이다. 소태아혈청의 연간 생산량은 약 80만 리터이므로, 세상의 모든 소태아혈청을 세포배양육 생산에 사용한다면 1년에 약 2240킬로그램을 생산할 수 있다. 식량자원으로 사용하기에 턱없이 부족한 값이다. 뿐만 아니라 소태아혈청은 도축 당시 임신 상태에 있는 소의 태아에서 혈액을 채취하며 제조하기 때문에 품종, 개체, 임신 주수마다 품질이 다를 수 밖에 없다. 가격도 비싸다. 더구나 바이오의약품의 연구개발 및 생산이 늘어나면서 소태아혈청 수요가 늘고 있어 가격이 앞으로 오를 확률이 매우 높다.

소태아혈청을 대체하기 위해 재조합 단백질을 사용할 수 있으며 배양액을 연구하는 다양한 업체들이 이 방식을 선택한다. 대부분 재조합 단백질을 저렴한 비용으로 생산하는 것을 목표로 택하고 있다. 싱가포르의 터틀트리 자회사 터틀트리 사이언티픽(TurtleTree Scientific)은 디아딕(Dyadic) 등 기존 미생물 대량배양 업체와 협업하여 재조합 단백질의 형태로 성장인자를 대량 생산하고자 계획하고 있다. 영국의 멀투스 바이오텍(Multus Biotech)은 독특한 재조합 단백질 생산기술을 가지고 있는데 초기 투자로만 25억 원을 확보하고 영국 정부의 지원도 받는 등 관련 기술이 주목받고 있는 분위기이다.

소 태아가 아닌 다른 생물자원을 가공하여(주로 가수분해물 또는 추출물의 형태) 사용하는 방안도 고려되고 있다. 동물이 아닌 식물 또는 미생물 생물자원을 사용하는 비동물성(animal-free) 대체재가 가장 이상적인 것으로 고려되고 있다. 한국해양과학기술원은 스피룰리나 추출물을 소태아혈청 대체재로 사용하는데 광합성이 가능하기 때문에 생산비용이 저렴하다는 것이 장점이지만 소태아혈청을 완전히 대체할 수는 없었다고 한다(Jeung et al., 2021). 네덜란드의 모사미트(Mosa Meat)는 소태아혈청 대체재를 개발하여 배양액 가격을 초기 비용의 1/88로 줄였다고 보고하였고 이스라엘 퓨처미트(Future Meat)도 최근 완공한 대량 생산 시설에서 소태아혈청을 사용하지 않는다고 밝힌 바 있다.

7) [배양액] 세포배양육은 무항생제인가?

세포배양육 지지자들은 청정고기(clean meat)이라는 이름을 사용하며 항생제를 사용하지 않는다는 이미지를 강조하고 있다. 하지만 가축 동물로부터 세포를 얻는 과정에 항생제를 사용하지 않는다면 미생물 오염이 일어날 가능성이 높다. 살아있는 가축의 근육조직에서 바늘 등을 이용하여 세포를 얻을 때도, 도축된 근육조직에서 세포를 얻을 때도 미생물 오염의 가능성이 있다. 난태생인 동물의 알에서 무균상태로 근육조직을 얻는 것은 가능하므로 닭 등 난태생의 가축은 무항생제 배양이 가능하리라 생각된다.

세포주를 사용하는 경우에는 손쉽게 무항생제 배양이 가능한데 세포주에서는 미생물 오염이 없는 세포의 클론(clone)을 선택할 수 있기 때문이다. 배양기 운용의 측면에서는, 무항생제 배양은 비교적 크지 않은 배양기에서 한 달 미만으로 배양할 때에만 적용 가능할 것으로 보인다. 배양기가 커지고 배양 기간이 길어지면 미생물 오염이 일어날 만한 요소가 많아지기 때문이다.

이런 모든 상황을 고려할 때, 대부분의 세포배양육 업체는 안전성을 담보하기 위해 항생제를 세포배양 과정 중 사용하고, 최종 산물이 나오기 전 휴지기를 두는 식으로 세포배양육을 생산할 가능성이 커 보인다. 즉 항생제 휴지기를 길게 두거나 항생제 농도를 낮게 유지하는 등의 방법으로 기존 육류 대비 항생제 사용량을 낮출 수는 있으나, 아예 사용하지 않는 방식은 어려울 것으로 보인다.

기존 육류와 비교하면 세포배양육 최종 산물에서의 총 미생물량은 매우 낮게 유지할 수 있을 것으로 보인다. 세포배양육 생산의 모든 과정이 통제된 환경에서 일어나기 때문이다. 따라서 미생물 오염이 잘 관리된다는 전제하에, 세포배양육은 레토르트 식품과 유사한 형태로 상온에서 장기간 운송이 가능할 것으로 생각된다. 이는 운송 및 보관 비용을 낮추고 부패로 인해 폐기되는 양을 줄이는 효과가 있다. 이에 관련하여 미국 업사이드푸드(Upside Foods)는 자사의 세포배양육과 기존 육류에서 미생물 배양 실험을 실시한 적이 있다. 미생물 오염을 완전 제거할 수 없는 기존 육류와 달리 세포배양육에는 미생물이 전혀 존재하지 않음을 보여, 세포배양육의 무균 상태 생산이 가능함을 입증하였다(Nanalyze, 2017 Oct 19).



그림 20. 업사이드푸드(舊 멤피스미트)의 미생물 배양 실험

출처: Nanalyze, 2017 Oct 19

8) [지지체] 지지체의 사용은 필수인가?

항체의약품이나 바이오의약품을 대량 생산하기 위해 사용되는 기존의 대량배양 방식은 대부분 부유배양법이다. 세포배양육 업체의 입장에서 대량 생산을 위한 가장 쉬운 방법은 세포주를 확보한 후 기존 대량배양 방식(부유배양)을 그대로 적용하는 것이며, 실제 식품허가를 받은 미국의 잇저스트(Eat Just)가 사용하는 방식이기도 하다. 하지만 부유배양 시 근육조직의 분화가 일어나지 않기 때문에 부유배양의 산물로 만들어진 세포배양육은 근육조직이 아니라 단순한 세포의 집합에 불과하다. 물론 분화하지 않은 동물 세포 자체도 동물성 재료로서 가치가 있으나 근섬유로 이루어진 근육조직과는 맛과 영양성분의 차이가 있을 것으로 생각된다.

부유배양과 반대되는 개념인 부착배양의 경우 근육조직으로의 분화에 유리할 것으로 생각된다. 세포의 부착을 위해 지지체(scaffold) 기술이 사용될 수 있다. 이상적인 지지체는 세포 부착성이 좋고, 내부 구멍을

통해 배양액이 자유롭게 드나들며, 근섬유로의 분화를 돕고, 지지체 자체가 식용 가능한 소재로 만들어져야 한다. 다양한 식품 소재를 이용한 지지체가 개발되었으나 시장을 재패할 만한 지지체 전문 업체는 등장하지 않은 상태이다.

지지체를 아예 사용하지 않고 세포끼리 부착시키는 방식으로 세포배양육 생산을 하려는 업체들도 있다. 모사미트(Mosa Meat)의 링 형태, 업사이드푸드(Upside Foods)의 시트 형태 근육조직은 지지체 없이 배양 접시 위에서 만들어진다. 지지체의 도움 없이 세포 간 접촉을 통해서도 근육분화를 유도할 수 있기 때문이다. 하지만 이와 같은 방식은 대량 생산에 적합하지 않다.

부유배양 방식의 세포배양육 생산은 생산성에서 우위에 있지만 품질 면에서 부족함이 있다. 세포끼리의 부착을 이용한 방식은 품질이 뛰어나지만 생산성이 부족하다. 배양기에서 지지체를 이용하여 대량배양하는 방식은 품질과 생산성 모두에서 이점이 있다. 다만 이를 실제로 구현하여 공개한 회사가 아직 등장하지 않았다. 지속적인 연구개발이 진행 중인 만큼 빠른 시간 안에 지지체를 이용하여 세포배양육을 대량 생산하는 공정이 현실화 되리라 예상된다.

6. 맺으며

2021년 10월 31일 현재 식품허가를 받은 세포배양육 업체는 미국의 잇저스트가 유일하다. 세포배양육의 첫 번째 식품허가를 세포배양육 기술의 완성으로 해석해서는 안 된다. 잇저스트의 세포배양육은 아직 근육 조직의 형태를 갖추지 못한 과도기의 하이브리드 제품이다. 잇저스트가 굿미트(Good Meat) 브랜드로 싱가포르에서 출시한 세포배양육 제품은 30%의 동물성 재료와 70%의 식물성 재료로 구성된 것으로 파악되며, 소태아혈청을 제조과정에서 사용하고, 부유배양기에서 대량으로 키워낸 닭의 섬유아세포를 사용한다. 시장에 완전히 진입하였다고 할 수도 없다. 식품허가 후 잇저스트는 현지 레스토랑인 'Restaurant 1880'에서 사흘간의 시범 판매를 하였고, 이후 해당 레스토랑의 정식 메뉴로 등록된다는 기사가 있었으나 무산된 것으로 파악된다. 뒤이어 싱가포르의 JW 메리어트 호텔의 'Madame Fan' 레스토랑에서 정식 판매가 재개되는 듯하였으나, 실제로 이루어지지 못했다. 음식 배달앱인 'FoodPanda'에서 배달이 가능하도록 시도 중이나 현재는 서비스되고 있지 않다.

세포배양육 업계는 크게 둘로 구분할 수 있다. 우선 전통 육류와 유사성이 높고 품질이 뛰어나지만 대량 생산이 어려운 기술을 보유한 업체들이다. 모사미트(Mosa Meat)와 업사이드푸드(Upside Foods)가 이에 해당한다. 반대로 잇저스트(Eat Just), 퓨처미트(Future Meat), 슈퍼미트(SuperMeat) 등은 근육조직을 재현하지 못하고 동물성 재료 수준으로 사용된다는 한계가 있지만 대량 생산이 가능한 업체들이다. 위에서 언급한 5개 업체 외에도 이스라엘의 알레프팜(Aleph Farms), 일본의 인테그리컬처(IntegriCulture) 등이 고품질 소량생산 기술을 추구하고 있다고 판단된다. 싱가포르의 쉬오크미트(Shiok Meats), 한국의 다나그린(DaNAgreen) 등은 하이브리드 세포배양육 연구개발에 매진하고 있다.

시장에 선진입 하는 것은 후자인 하이브리드 세포배양육 업체로 예측된다. 이들은 지속적인 기술혁신을 통해 생산단가 절감을 주요 전략으로 채택할 것으로 보인다. 따라서 이들은 식량불평등을 해결할 수준으로 세포배양육 생산단가를 낮출 수 있는 잠재적 후보군이다. 인구증가 및 기후변화로 인해 전통 축산물 가격이 상승할 가능성이 있으므로 각국의 미래 식량안보 문제와도 연관지어 생각할 필요가 있다.

반면 고품질 소량생산 업체들은 대량 생산이 가능해질 때까지 상대적으로 시장 진입이 늦춰질 것으로 판단된다. 이들 업체는 고품질의 배양육을 고비용으로 판매하는 프리미엄 전략을 취할 것으로 예상되며, 따라서 지구를 위한 친환경 기술이라는 점을 강조할 것으로 보인다. 또한 기존 육류에서 문제시되던 포화지방, 콜레스테롤 등의 성분을 제거하고 소비자의 건강에 도움된다는 이미지를 내세울 것으로

예상된다. 스테이크, 푸아그라, 캐비어, 복어요리, 상어지느러미 요리 등 고가의 기존 육류 제품과 경쟁하되 환경을 생각하고 건강을 생각하는 소비자들의 지갑을 자극할 예정이다.

요약하자면 식물성 및 동물성 재료의 하이브리드 세포배양육이 당분간 시장에서 흔히 접할 수 있는 주력 상품이 될 것이며, 점차 생산단가가 내려가 세계적 식량불평등 문제 해결에 기여할 수 있을 것으로 보인다. 식량안보를 위해 이들 기업에는 국가적 지원이 뒤따를 가능성이 크다. 어느 정도 시간이 지난 후 프리미엄 세포배양육이 시장에 진입하면 시장이 다양화되고 확대될 것으로 판단되며 친환경 친건강 이미지의 제품군이 등장할 것이다.

세포배양육 산업의 성장을 장려하고 식량안보의 우위를 가지려면 원료세포 및 원료세포주 확보에 지원이 집중될 필요성이 있다. 세포 농업의 시대가 도래한다면, 좋은 종자를 다양하게 확보하는 국가가 유리한 것은 자명하다. 마찬가지로 세포배양육 산업의 식품 안전성을 담보하고 국민의 염려를 덜기 위해서는 특히 원료세포의 변이 위해성에 초점을 맞춘 심도있는 연구가 요구된다. 앞으로 효율성과 안전성 양면에서 균형잡힌 세포배양육 산업의 발전을 기원한다.

참고문헌

Ajith S. (2021 Apr 7). Mission Barns Raises \$24M Series A to Scale Up its Cultivated Fat Technology and Build Pilot Production Facility. Business Wire. <https://www.businesswire.com/news/home/20210407005738/en/Mission-Barns-Raises-24-M-Series-A-to-Scale-Up-its-Cultivated-Fat-Technology-and-Build-Pilot-Production-Facility> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

BBC News (author undisclosed). (2013 Aug 5). World's first lab-grown burger is eaten in London. BBC News. <https://www.bbc.com/news/science-environment-23576143> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

Ben-Arye T, Shandalov Y, Ben-Shaul S, Landau S, Zagury Y, Ianovici I, Lavon N, & Levenberg S. (2020). Textured soy protein scaffolds enable the generation of three-dimensional bovine skeletal muscle tissue for cell-based meat. *Nat Food*. 1:210-220.

Bond C. (2021 Sep 30). We Talked to BlueNalu About Creating Fish Cell Lines From Scratch. The Spoon. <https://thespoon.tech/we-talked-to-bluenalu-about-creating-fish-cell-lines-from-scratch/> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

Bogliotti YS, Wu J, Vilarino M, Okamura D, Soto DA, Zhong C, Sakurai M, Sampaio RV, Suzuki K, Izpisua Belmonte JC, & Ross PJ. (2018). Efficient derivation of stable primed pluripotent embryonic stem cells from bovine blastocysts. *PNAS*. 115(9), 2090-2095.

Boonen K, Rosaria-Chak K, Baaijens F, van der Schaft D, & Post M. (2009). Essential environmental cues from the satellite cell niche: optimizing proliferation and differentiation. *Am J Physiol Cell Physiol*. 296(6):C1338-1345.

Brazhnik K, Sun S, Kinkhabwala A, Maslov Ay, & Vijg J. (2020). Single-cell analysis reveals

different age-related somatic mutation profiles between stem and differentiated cells in human liver. *Science Advances*. 6(5).

Breemhaar J, Post M. (2019). Apparatus and process for production of tissue from cells. PCT/EP2019/060744. World Intellectual Property Organization.

Chase Purdy. (2020). *Billon Dollar Burger*. Penguin Random House. New York, USA.

Choi KH, Lee DK, Kim SW, Woo SH, Kim DY, & Lee CK. (2019). Chemically defined media can maintain pig pluripotency network in vitro. *Stem Cell Rep*. 13(1):221-234.

Churchill W, Spurrier S. (1931). Fifty years hence. *Strand Magazine*, 82, 492.

Coffey D. (2020 Nov 29). Future Meat is cutting costs on mass production with an unlikely cellular approach. *The Spoon*, <https://thespoon.tech/future-meat-is-cutting-costs-on-mass-production-with-an-unlikely-cellular-approach/> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

Connolly B. (2021 Oct 20). Mission Barns partners with Silva Sausage Co., completes first-ever scaled-up manufacturing run of a product containing cultivated meat. *Business Wire*. <https://www.businesswire.com/news/home/20211020005241/en/Mission-Barns-partners-with-Silva-Sausage-Co.-completes-first-ever-scaled-up-manufacturing-run-of-a-product-containing-cultivated-meat> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

De Marchi M, Costa A, Pozza M, Goi A, & Manuelian C. (2021). Detailed characterization of plant-based burgers. *Sci Rep*. 11: 2049.

Ding S, Swennen GNM, Messmer T, Gagliardi M, Molin DGM, Li C, Zhou G, & Post MJ. (2018). Maintaining bovine satellite cells stemness through p38 pathway. *Sci Rep*. 8(1):10808.

Dong X, Zhang L, Milholland B, Lee M, Maslov AY, Wang T & Vigg J. (2017). Accurate identification of single-nucleotide variants in whole-genome-amplified single cells. *Nat Methods*. 14:491-493.

Genovese N, Desmet D, Schulze E. (2017). Methods for extending the replicative capacity of somatic cells during an ex vivo cultivation process. PCT/US2017/013782. World Intellectual Property Organization.

Genovese N, Firpo M, Dambournet D. (2018). Compositions and methods for increasing the culture density of a cellular biomass within a cultivation infrastructure. PCT/US2018/031276. World Intellectual Property Organization.

Genovese N, Schulze E, Desmet D. (2019). Compositions and methods for increasing the efficiency of cell cultures used for food production. PCT/US2018/042187. World Intellectual Property Organization.

GOOD Meat homepage. <https://goodmeat.co/process> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

- Davis C. (2020 Nov 13). Battle of the burgers: impossible burger vs beyond burger vs beef. The medium.
<https://chanapdavis.medium.com/impossible-burger-or-beyond-which-plant-based-burger-is-best-5e405d9892d9> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Hall C. (2021 Sep 28). New Age Meats bites into \$25M for cultured meat product line development. Tech Crunch.
<https://techcrunch.com/2021/09/27/new-age-meats-bites-into-25m-for-cultured-meat-product-line-development/> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Ho S. (2021 Feb 10), Aleph Farms & Technion debut world's first cell-based ribeye steak prototype. Green Queen.
<https://www.greenqueen.com.hk/aleph-farms-technion-debut-world-first-cell-based-ribeye-steak-prototype/> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Hou P, Li Y, Zhang X, Liu C, Guan J, Li H, Zhao T, Ye J, Yang W, Liu K, Ge J, Xu J, Zhang Q, Zhao Y, & Deng H. (2013). Pluripotent stem cells induced from mouse somatic cells by small-molecule compounds. *Science*. 341(6146), 651-654.
- Jeong Y, Choi WY, Park A, Lee YJ, Lee Y, Park GH, Lee SJ, Lee WK, Ryu YK, & Kang DH. (2021). Marine cyanobacterium *Spirulina maxima* as an alternate to the animal cell culture medium supplement. *Sci Rep*. 1:11(1):4906.
- JUST Egg Youtube Channel. (2018 May 22). Cultured Meat: A Vision of the Future.
www.youtube.com/watch?v=f8li3DB6ejE (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Kim BJ, Lee YA, Kim YH, & Ryu BY. (2014). Establishment of adult mouse testis-derived multipotent germ line stem cells and comparison of lineage-specific differentiation potential. *Tissue Eng Regen Med*. 11(2):121-130.
- Leung M, Godbole A, Engelmayr G, Genovese N, Valeti U, Carswell K. (2020). Apparatuses and methods for preparing a comestible meat product. PCT/US2020/034949. World Intellectual Property Organization.
- Lynch J, Pierrehumbert R. (2019). Climate impacts of cultured meat and beef cattle. *Front Sustain Food Syst*. 3:5.
- Mandel J. (2021 Jun 22). Israelis taste the future with lab-grown chicken 'food revolution'. Yahoo News. <https://news.yahoo.com/israelis-taste-future-lab-grown-153024189.html> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Marston J. (2021 Jun 24). Future Meat Opens Production Facility, Aims to Sell Cultured Meat in the US by 2022. The Spoon.
<https://thespoon.tech/future-meat-opens-production-facility-aims-to-sell-cultured-meat-in-the-us-by-2022/> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- MeatTech 3D homepage.
<https://meatech3d.com/meatech-group-manufactures-over-half-a-kilogram-of-cultivate>

d-fat-biomass-in-a-single-production-run/ (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

- Mosa Meat Youtube Channel. (2018 Jul 6). How is cultivated meat (a.k.a. cultured meat) made exactly? https://www.youtube.com/watch?v=R8P_5REK5Do (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Nahmias Y. (2018). Systems and methods for growing cells in vitro. PCT/IL2017/050790. World Intellectual Property Organization.
- Nanalyze (undisclosed author). (2017 Oct 19). Meet 7 Startups Creating Lab-Grown Meat. Nanalyze.com. <https://www.nanalyze.com/2017/10/7-startups-lab-grown-meat/> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Phua R. (2020 Dec 21). Lab-grown chicken dishes to sell for S\$23 at private members' club 1880 next month. Channel News Asia Singapore. <https://www.channelnewsasia.com/news/singapore/lab-grown-chicken-nuggets-1880-eat-just-price-customers-13817016> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Poinski M. (2021 Jul 14). Nestlé works with Future Meat Technologies to explore cell-based meat's potential. Food Dive. <https://www.fooddive.com/news/nestle-works-with-future-meat-technologies-to-explore-cell-based-meats-pot/603258/> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Savir I, Friedman S, Barak K. (2018). Cultured meat-containing hybrid food. PCT/IL2018/050398. World Intellectual Property Organization.
- Soundararajan M, Kannan S. (2018). Fibroblasts and mesenchymal stem cells: Two sides of the same coin? *J Cell Physiol.* 233(12):9099-9109.
- Specht L. (2020). An analysis of culture medium costs and production volumes for cultivated meat. Good Food Institute. <https://gfi.org/wp-content/uploads/2021/01/clean-meat-production-volume-and-medium-cost.pdf> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Taylor K. (2018 May 24). Jaden Smith slams embattled vegan mayo maker and claims it copied his bottled-water brand. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/jaden-smith-vs-hampton-creek-just-trademark-suit-2018-5> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Terazono E. (2021 May 6). Lab-grown chicken start-up slashes production costs. Financial Times. <https://www.ft.com/content/ae4dd452-f3e0-4a38-a29d-3516c5280bc7> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)
- Tuomisto HL, & de Mattos MJ. (2011). Environmental impacts of cultured meat production. *Environ Sci Technol*, 45(14), 6117-6123.
- Urish K, Kanda Y, & Huard J. (2005). Initial failure in myoblast transplantation therapy has led the way toward the isolation of muscle stem cells: potential for tissue regeneration. *Curr Top Dev Biol.* 68, 263-280.
- van Vliet S, Bain JR, Muehlbauer MJ, Provenza FD, Kronberg SL, Pieper C & Huffman K.

(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

Wack C. (2021 Sep 15). MeaTech 3D Unit Produces 700 Grams of Cultivated Chicken Biomass. *Market Watch*.
<https://www.marketwatch.com/story/meatech-3d-unit-produces-700-grams-of-cultivated-chicken-biomass-271631702664> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

Wilder A. (2021 May 11). Future Meat Once Again Slashes Production Price of Cultured Chicken. *The Spoon*.
<https://thespoon.tech/future-meat-once-again-slashes-production-price-of-cultured-chicken/> (최종 접속일: 2021년 10월 29일)

Yoshihara M, Hayashizaki Y, & Murakawa Y. (2017). Genomic Instability of iPSCs: Challenges Towards Their Clinical Applications. *Stem Cell Rev Rep.* 13:7-16.

Zhang L, Dong X, Lee M, Maslov AY, Wang T & Vijg J. (2019). Single-cell whole-genome sequencing reveals the functional landscape of somatic mutations in B lymphocytes across the human lifespan. *PNAS* April 30, 2019 116 (18) 9014-9019

제5세부 과제

국내외 식물성 단백질 시장의 미래 시장동향

Opportunity of plant-based
protein market in future

연구책임자 : 한정훈 박사 Pulmuone Foods USA

공동연구자 : 강부희 박사 Pulmuone Foods USA

연구기간 : 2021년 1월 1일 ~ 2021년 10월 31일

2021년 10월

국내외 식물성 단백질 시장의 미래 시장동향

강부희, 한정훈

Pulmuone Foods USA

목차

1. 서론
2. 본론
 - 1) 제품군별 분석
 - 2) 미국의 식물성대체육산업의 역사와 현재 시장현황
 - 3) 식물성단백질 원료별 분석
3. 제안 및 결론

1. 서론

식물성 단백질 식품의 주원료로 사용되는 식물성단백질 원재료에 대한 이해와 이를 이용한 식품 제품의 특성과 시장 현황에 대해서 정리하여 향후 식물성 단백질 시장의 미래 동향을 예측하고 이에 대응하기 위한 목적으로 본 보고서를 작성하였다. 본 보고서는 소비자 시장규모가 가장 큰 미국시장을 위주로 작성된 자료를 사용하였으며 이를 통해 한국식품산업의 글로벌사업화를 돕고자하는 목적도 포함되어 있다.



그림 1. 2020년 미국내 전체 식품 카테고리에서 식물성 단백질 기반 식품의 판매 비중 (SPINS, 2020a; GFI, 2021a)

식물성 단백질과 이를 이용한 식품을 이해하기 위해 우선 식물성 단백질 제품을 분류하였다. 가장 시장 규모가 큰 제품군은 식물성음료 제품군이다 (그림 1). 두 번째로 큰 시장규모를 가진 제품군은 식물성 유제품군이다. 세 번째로 식물성 대체육 제품군이 그 뒤를 따르고 있으며 네 번째로는 식물성 밀키트와 반찬류로 여기에는 식사와 함께 혹은 식사대용으로 소비되는 각종 식물성 고단백재료가 포함된다. 이런 네 가지 제품군이 식물성 단백질 식품을 구성하는 대표적인 제품군이다 (그림 1).

구체적으로 식물성음료 제품군에는 두유, 아몬드 밀크, 캐슈 밀크 등 단백질이 풍부한 음료 제품이 포함된다 (Sethi S et al, 2016). 두 번째로 식물성 유제품군에는 우유가 포함되지 않은 식물성 아이스크림, 요거트, 치즈, 그리고 이런 식물성 유제품을 가공한 제품이 포함된다 (GFI, 2021a). 세 번째로 식물성 대체육 제품군은 분쇄육, 햄버거 패티, 소시지 등이 포함되며 마지막 네 번째로 식물성 밀키트와 식물성 고단백 재료에는 대표적으로 두부가 포함된다 (GFI, 2021a). 미국에서 가장 큰 시장규모를 가진 식물성음료 제품군은 2020 년말을 기준으로 연간 \$2,500,000,000 USD 의 규모를 차지하고 있으며, 식물성유제품군은 \$1,900,000,000 USD, 식물성대체육제품군은 \$1,400,000,000 USD, 그리고 식물성 밀키트와 고단백 재료는 \$520,000,000 USD 의 시장 규모를 차지하고 있다 (그림 1). 이들 제품군의 2019-2020 시장 성장률을 보면 각각 20%, 28%, 45%, 29%로 미국에서 식물성대체육제품군의 시장이 45%로 가장 큰 성장을 한 것을 알 수 있다 (그림 1).

미국에서 식물성단백질의 원재료로 가장 많이 이용되는 식물성재료는 대두이다 (Zhao H et al, 2020). 대두는 대두 그 자체로 식품의 원료로 사용되는 경우도 있지만 대두유를 추출한 후 남은 대두박에서 대두단백질을 추출하고 이를 식물성단백질원으로 식품산업에서 사용되고 있다. 대두와 대두단백질 다음으로 주로 사용되는 식물성단백질원은 견과류이다. 대두와는 달리 견과류는 단백질의 추출없이 견과류 그 자체로 단백질원으로 사용된다. 견과류를 이어 큰 시장을 형성한 식물성단백질원은 밀 글루텐과 노란완두콩단백질이다. 밀 글루텐은 제분공정에서 분리하여 사용되며 노란완두콩은 캐나다와 미국북부지역에서 사료용으로 재배되던 작물로 현재 단백질보조제와 각종 식품산업에서 대두단백질의 뒤를 이어 많이 사용되고 있다.

미국내 식물성 단백질 시장현황을 보다 잘 이해하기 위하여 현재 미국 시장에 존재하는 식물성 단백질 제품을 품목별로 구분하여 그 특성과 현황을 검토하고 이를 통해 미국 시장에서의 미래 시장동향을 예측하고 또한 예측한 시장동향을 분석하는 기회를 통해 미국시장을 대상으로 한 한국식품산업계의 성공가능성이 있는 사업방향을 제안해 보고자 한다.

2. 본론

1) 제품군별 분석

가장 큰 제품군을 차지하고 있는 식물성음료의 경우 미국에서 2020년 현재 \$2,500,000,000 USD의 시장 규모를 차지하고 있다 (표 1). 전체 식품 식물성 단백질 식품 시장의 규모에 비하면 약 35%의 시장이 식물성음료의 시장이다. 2019년 대비 1년간 20%의 성장률을 기록하였으며 2018년부터 2년간 27%의 성장률을 기록했다. 식물성음료제품중 식물성우유는 식물성 단백질 시장에서 대표적으로 시장에서 성공한 사례에 포함되며 이는 식물성우유에 판매대대가 실제 우유의 판매대대 바로 옆에 경쟁적으로 위치한 것을 보면 알 수 있다. 식물성우유에 사용되는 핵심 단백질원재료는 대두, 견과류, 노란완두콩이며 이 중에 가장 큰 시장을 차지하고 있는 제품은 아몬드밀크이고 다음으로 두유가 그 뒤를 따르고 있다. 최근에는 단백질이 집중적으로 강화되지 않은 일반 식물성음료도 그 시장규모가 커지고 있는데 이런 제품에는 오트우유, 쌀우유 등이 포함된다. 특히 오트우유는 가파른 성장세를 보이며 2020년 미국에서 두유의 시장규모를 넘어섰다 (GFI, 2021a).


표 1. 2020년 미국내 식물성 단백질 기반 식품의 판매 비중 및 성장률 (SPINS, 2020b; GFI, 2021a)

	2020 Sales	YoY Growth '19-'20
Plant-based milk	\$2.5b	20%
Plant-based meat	\$1.4b	45%
Plant-based meals	\$520m	29%
Plant-based ice cream and frozen novelty	\$435m	20%
Plant-based creamer	\$394m	32%
Plant-based yogurt	\$343m	20%
Plant-based protein liquids and powders	\$292m	10%
Plant-based butter	\$275m	36%
Plant-based cheese	\$270m	42%
Tofu and tempeh	\$175m	41%
Plant-based baked goods and cookies	\$152m	-1%
Plant-based ready-to-drink beverages	\$137m	12%
Plant-based condiments, dressings, and mayo	\$81m	23%
Plant-based dairy spreads, dips, sour cream, and sauces	\$61m	83%
Plant-based eggs	\$27m	168%
Grand Total	\$7.0b	27%

Note: the data presented in this graph is based on custom GFI and PSA categories that were created by refining standard SPINS categories. Due to the custom nature of these categories, the presented data will not align with standard SPINS categories.

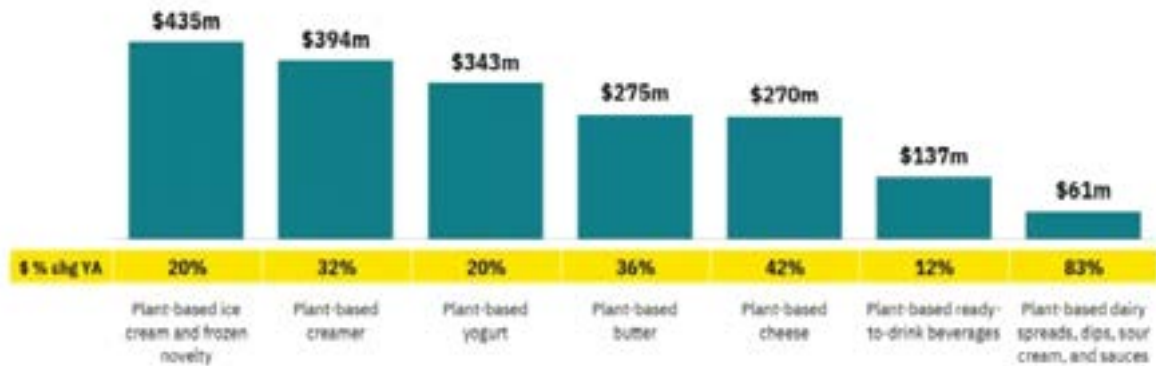
Source: SPINS Natural Enhanced Channel, SPINS Conventional Multi Outlet Channel (powered by IQV) 104 Weeks Ending 12-27-2020

© 2021 The Good Food Institute, Inc.



식물성음료 제품을 이어 미국에서 두 번째로 시장이 큰 식물성단백질식품군은 식물성유제품으로 \$1,900,000,000 USD의 시장규모를 가지고 있다 (그림 2). 식물성유제품에는 식물성 아이스크림, 요거트, 버터, 치즈 등이 포함된다. 식물성 아이스크림은 식물성 유제품 제품군 중 가장 큰 시장을 차지하고 있으며 그 뒤를 이어 커피크리머, 요거트, 버터, 치즈, 그리고 그 외 유제품의 맛을내는 식물성음료가 시장에 있다 (그림 2). 이들의 2020년 시장규모는 각각 \$435,000,000 USD, \$394,000,000 USD, \$343,000,000 USD, \$275,000,000 USD, \$270,000,000 USD, \$137,000,000 USD이며 이 중 가장 큰 성장률을 보이는 제품은 식물성치즈로 2019년 대비 2020년에 42%의 시장 성장률을 기록하였으며 두 번째로 큰 시장 성

Other plant-based dairy category dollar sales and dollar sales growth 2020



Note: The data presented in this graph is based on custom GFI and SPINA categories that were created by refining standard SPINA categories. Due to the custom nature of these categories, the presented data will not align with standard SPINA categories.
 Source: SPINS Natural Enhanced Channel, SPINS Conventional Multi Outlet Channel (powered by IQV) | 52 Weeks Ending 12-27-2020 | © 2021 The Good Food Institute, Inc.

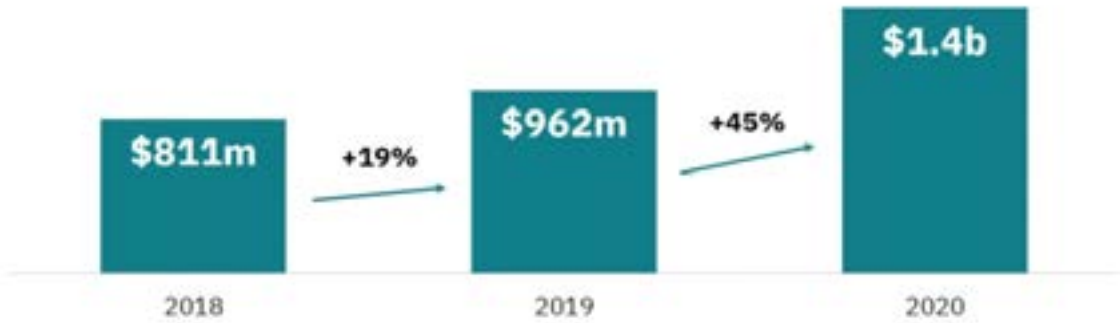


그림 2. 미국내 식물성 단백질 기반 우유를 제외한 식물성 단백질 기반 유제품의 판매 비중 (SPINS, 2020c; GFI, 2021a)

장률을 보이는 식물성유제품은 식물성버터로 2019년 대비 2020년에 36%의 성장률을 기록하였다 (표 1; 그림 2). 최근 들어 시장의 규모는 작지만 (\$27,000,000 USD) 가장 급격한 성장세를 보이고 있는 식물성 단백질제품은 식물성계란이다 (표 1; 그림 2). 식물성계란은 2019년 대비 2020년에 168%의 성장률을 보였으며 향후 동물성 계란을 대체할 수 있는 기회로 여겨지고 있다 (표 1; 그림 2). 여기에는 식물성전란분, 식물성난백분, 마요네즈 등이 포함된다.

미국에서 세 번째로 큰 식물성 단백질 식품 시장을 차지하고 있는 제품군은 식물성 대체육이다. 식물성 대체육 시장은 2020년 \$1,400,000,000 USD의 규모를 기록하고 있으며 성장률을 살펴보면 2019년 대비 45%의 급격한 성장률을 기록하고 있다 (표 1; 그림 3). 지난 2년간의 성장률을 비교할 경우 2018년 대비 127%의 시장 성장률을 기록하고 있다 (그림 3). 전체 식물성 대체육 시장은 그라운드 비프라고 불리는 분쇄육과 햄버거용 패티가 가장 큰 시장을 차지하고 있으며 그 뒤를 이어 소세지, 햄, 미트볼, 그리고 아침 식사용 패티형 돼지고기소시지, 그리고 치킨 너겟이 그 뒤를 따르고 있다 (그림 4). 전체적으로 소고기대체육이 가장 큰 시장을 이루고 있고 그 다음으로 닭고기대체육시장이 뒤를 따르고 있다 (그림 5). 식물성 대체육 생산에 사용되는 식물성 단백질 원료는 주로 대두단백질이며 그 뒤를 이어 노란완두콩단백질, 밀 글루텐, 그리고 기타 단백질이 사용되고 있다 기타 단백질에는 잠두콩(faba bean)단백질, 녹두단백질, 미강 단백질, 감자단백질 등이 포함된다 (GFI, 2021b)

U.S. plant-based meat market



Note: the data presented in this graph is based on custom GFI and SPFA categories that were created by refining standard SPINS categories. Due to the custom nature of these categories, the presented data will not align with standard SPINS categories.

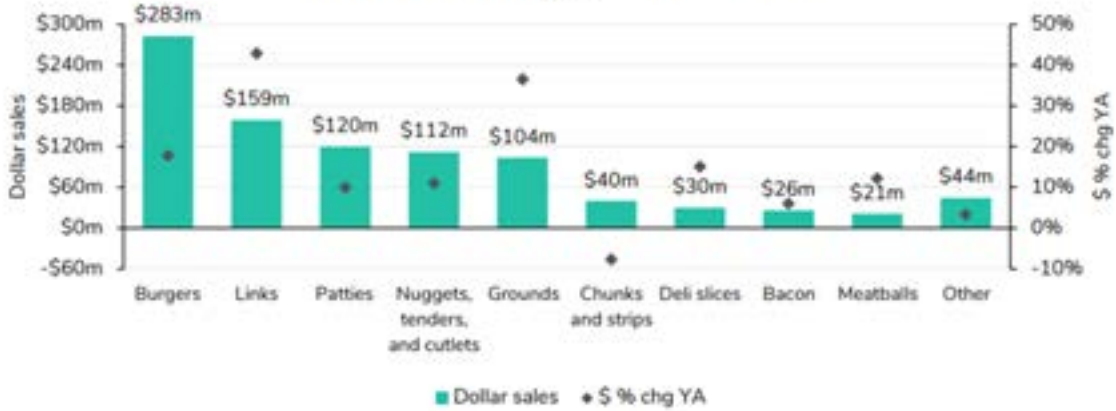
Source: SPINS Natural Enhanced Channel, SPINS Conventional Multi-Outlet Channel (powered by IR) 104 Weeks Ending 12-27-2020

© 2021 The Good Food Institute, Inc.



그림 3. 미국내 식물성 대체육 시장 (SPINS, 2020d; GFI, 2021)

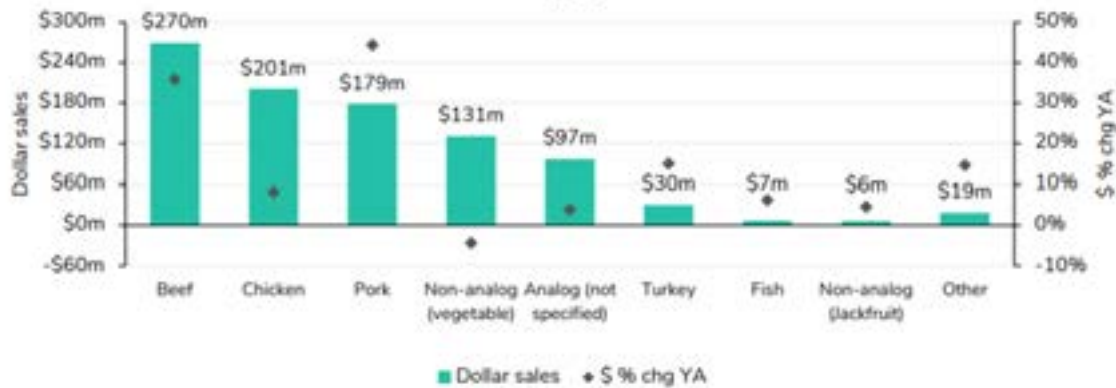
Plant-based meat dollar sales and dollar sales growth by product type 2019



Source: SPINSscan Natural and Specialty Gourmet (proprietary), SPINSscan Conventional Multi-Outlet (powered by IR), 104 weeks ending 12-29-2019

그림 4. 2019년 식물성 대체육 제품별 판매 현황 및 성장률 (SPINS, 2019; GFI, 2020)

Plant-based meat dollar sales and YoY growth by animal-type 2019



Source: SPINSscan Natural and Specialty Gourmet (proprietary), SPINSscan Conventional Multi-Outlet (powered by IR), 52 weeks ending 12-29-2019

그림 5. 2019년 식물성 대체육 육류 타입별 판매 현황 및 성장률 (SPINS, 2019; GFI, 2020)

식물성 대체육 시장은 앞에서 언급한 식물성 단백질 음료와 식물성 유제품 비하여 시장이 성숙되어 있지 않다. 따라서 현재 가장 활발한 투자가 이루어지고 있으며 동시에 기술력을 바탕으로 한 스타트업 회사들의 활동이 가장 활발하다. 이에 식물성 대체육에 대하여 조금 더 구체적으로 시장 현황뿐 아니라 기술적 현황까지 알아보려고 한다. 식물성 대체육은 최근 들어 소비자로부터 각광을 받고 있는 것이 사실이나 실제 역사적으로 보면 베지버거라는 이름으로 곡물 위주의 식물성 햄버거패티로 매우 오래 전부터 생산 판매되고 있었다. 그러나 이 제품들은 모두 육제품을 소비하지 않는 특수 소비자군을 위한 제품이었다. 베지버거는 실제 소고기로 만든 햄버거 패티에 비하면 그 맛과 식감이 실제 고기와는 매우 달랐다. 베지버거는 고기의 맛을 싫어하거나 문화적으로나 종교적으로 소고기의 소비가 금지되어 있는 지역과 소비자를 위한 햄버거 패티 용 제품으로 개발되었고 시장이 형성되었다. 베지버거는 따라서 고기를 먹지 않는 소비자들이 일반적인 햄버거 패티를 소비하는 소비자와 함께 시간과 장소와 환경을 공유할 수 있도록 하기위해 개발되었고 판매가 되었다. 그러나 지금 여기서 언급하고자 하는 식물성 대체육은 기존의 베지버거의 특성을 가진 제품을 의미하는 것이 아니고 고기의 맛과 조직감을 가장 비슷하게 구현하는 제품으로서 목표 소비자 계층이 현재 고기를 소비하고 있는 소비자층을 대상으로 제품이 기획되었고 개발되어 시장에서 판매가 되고 있는 제품을 의미한다. 따라서 식물성 대체육은 고기를 많이 소비하는 소비자군의 고기의 과대 섭취로 인한 건강의 문제를 보완하고자 개발되었으며 또한 고기 생산을 위한 축산산업의 어려운 환경문제를 개선하기 위해 개발이 되었고 시장이 형성되었다. 최근들어서 동물 복지를 추구하는 소비자군에 의하여 또한 식물성대체육은 각광받고 있는 실정이다.

미국 내 그로서리 마켓에서 식물성대체육을 구매하고자 하면 대부분의 식물성 대체육 제품은 그로서리 내 정육코너에서 구매할 수 있다. 식물성 대체육은 소비자가 구매할 당시 냉장 또는 냉동식품으로 구매할 수 있다. 실제 제조업체로부터 유통업체를 통하여 그로서리 마켓으로 제품이 납품될 경우 거의 모든 식물성 대체육 제품은 냉동상태로 공급된다. 냉동 상태로 공급된 제품은 각 그로서리 정육 코너에서 해동 후 유통기한을 스티커로 날인한 후 냉장 매대에서 진열 판매 된다. 이와 같은 냉동, 해동, 유통기한 날인, 냉장 진열과 같은 방식은 현재 그로서리 정육 코너에서 표준화된 작업 방식이다. 따라서 정육 코너가 존재하지 않은 소규모 그로서리나 혹은 특화된 그로서리의 경우에는 식물성 대체육 제품을 냉장으로 관리, 진열, 판매하기는 조금 어려운 상황이 발생한다. 이럴 경우 납품받은 그대로 냉동육형태로 판매가 된다. 대부분의 식물성 대체육 제품은 해동 후 14일 혹은 21일의 유통기한을 가지고 있다. 이는 식물성 대체육제품이 천연보존제 혹은 pH 조절 등의 방법으로 유통 기간을 자체 확보할 수 있기에 가능한 것이며 만일 이와 같은 미생물 위해 요소에 대한 억제기작이 없는 경우는 해동 후 일주일 이내의 냉장 유통 기간을 갖게 된다. 제품의 형태를 보면 미국의 육제품 소비량과 비례하여 햄버거용 패티 그리고 그라운드 비프가 가장 큰 시장 점유율을 보이고 있으며 그 뒤를 이어 소세지, 치킨 너겟 등이 시장을 차지하고 있다. 냉장과 냉동육의 시장 성장률을 비교하면 일상적인 상황에서는 냉장육의 성장율이 냉동육의 성장률보다 빠르다 (GFI, 2021a). 그러나 최근 COVID19 상황에서 가정에서 식료품을 장기간 보관 하여야 할 목적이 더욱 두드러짐에 따라 현재는 냉동육 형태의 제품도 큰 성장률을 보이고 있다(GFI, 2021a).

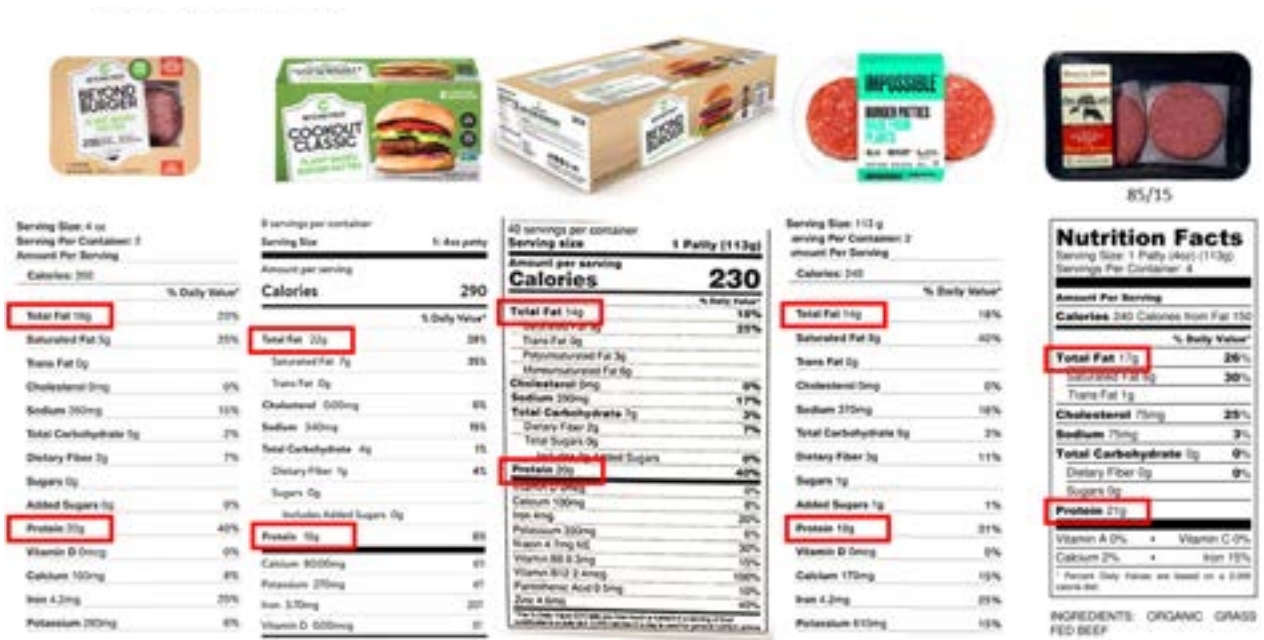


그림 6. Food service 및 retail 용 식물성 대체육의 영양성분 비교. 좌로 부터 일반소비자용 리테일 Beyond Burger, 회원제 클럽매장의 덕용포장 Beyond Burger, 식자재/업소 납품용 벌크포장 Beyond Burger, 일반소비자용 리테일 Impossible Burger Patty, 85/15 lean beef patty.

식물성 대체육 제품은 유통채널에 따라 원료의 배합과 포장 방법이 달라진다. 실제 미국에서 2020년 현재 가장 많이 판매가 되고 있는 Beyond Meat사의 경우 동일한 이름의 Beyond Burger Plant-based Patties 제품을 세 가지 다른 배합으로 유통 채널별로 다르게 공급하고 있다 (그림 6). 소비자 선택에 보다 민감한 리테일 제품의 경우에는 식물성 대체육 패티의 색상과 영양성분이 실제 고기를 사용한 햄버거 패티의 색상과 영양성분과 가장 비슷하며 대량 판매를 하는 회원제 클럽의 경우 판매되는 제품에 사용되는 배합이 리테일 제품의 배합과는 다르다. 대량 판매하는 회원제 클럽에서는 야외에서 바베큐 파티 용으로 사용 된다. 이에 바베큐파티에서 고온과 직화를 이용한 조리에 적합하도록 지방함량이 더 높은 배합을 사용하고 있다. 세 번째 유통채널로는 식자재/업소용 채널이 있다. 식자재/업소용 채널을 위한 제품은 각 업소의 셰프들에 의해 직접 조리가 되기 때문에 더 전문가 된 조리사의 익숙한 경험에 의해 품질이 결정된다. 소비자 입장에서 더 육즙이 많고 부드러우며 셰프의 입장에서는 조리가 간편하고 셰프 개인이 선호하는 조미료를 추가 할 수 있도록 제품에 배합이 다르게 구성되어 있다. 포장단위 별로 보면 리테일 채널의 경우 두 개에 패티가 한 트레이포장으로 제공되는 경우가 가장 많으며, 회원제 클럽의 경우 8개에서 12개 패티로 포장되며 식자재/업소용 채널 제품은 36개에서 40개의 패티가 냉동으로 벌크 포장되어 공급된다.

식물성 대체육은 때로 그 목표 소비자군에 따라 식물성 대체육 analog 혹은 식물성 대체육 non-analog로 나누어 지기도 한다. 식물성 대체육 analog는 앞부분에서 언급했었던 고기를 대체하고자 하는 목적으로 개발 판매되는 제품으로 고기소비자를 대상으로 하는 제품이며 식물성 대체육 non-analog는 비건 혹은 베지테리언 만을 위한 식물성 대체육 제품으로 실제 고기와는 매우 다른 맛과 조직감을 가진 제품을 의미한다.

다. 기존의 식물성 대체육 non-analog 제품에 비하여 최근 개발되고 또한 시장에서 큰 성장률을 보이고 있는 식물성 대체육 제품은 모두 analog 제품이다. 현재 마켓에서 소비자에게 선호되고 있는 식물성 대체육 analog 제품은 실제 고기와 거의 흡사한 맛과 조직감을 가지고 있다. 이에 많은 고기 소비자들이 자신들의 고기 소비량을 줄이기 위하여 식물성 대체육 analog 제품을 구매 소비하고 있다. 이와 같은 소비자 군을 플렉시테리언(flexitarian)이라고 부른다.

2) 미국의 식물성대체육산업의 역사와 현재 시장현황

미국 내에서 상업적으로 성공한 식물성 대체육 사업체를 살펴보면 식물성 대체육 산업의 아버지라 할 수 있는 사람은 John Harvey Kellogg 박사인 것을 알 수 있다. Kellogg 박사 안식교 교인으로서 자신의 요양원을 운영하고 그 요양원 안에서 Battle Creek System 이라는 식물성 다이어트 프로그램을 개발하여 결핵환자를 치료하는 의사였다 (International Vegetarian Union, 2021). Kellogg 박사 및 그가 속한 교단의 활동으로 식물성 대체육 제품에 상업적 개발과 생산이 시작되었다. 1883년 Kellogg 박사와 그의 부인은 요양원 환자를 위한 실험조리실을 세웠으며 이를 바탕으로 Sanitas Nut Companion 회사가 설립되었고 Madison Foods, Worthington Foods, Loma Linda Foods 등 안식교 교단의 식품제조회사가 차례로 설립되었다 (Sanitas Nut Food Company, 1989). 주 생산제품은 대두단백으로 만든 대체육 원료와 밀 글루텐으로 만든 seitan 이라는 대체육 원료였다(Shurtleff W et al, 2014). 이들 모든 회사는 향후 현재의 Kellogg 사에 합병되어 현재 Kellogg 사는 Morningstar Farms 라는 이름의 대규모 식물성 대체육 생산업체를 가지고 있다. 최근 Morningstar Farms 는 Incogmeato 라는 고급 브랜드를 출시하기도 하였다. Morningstar Farms 는 냉동제품으로 판매하고 있다. 미국 식물성 햄버거패티시장에서 제 3의 시장 점유율을 가지고 있는 Lightlife 사는 1979년 Tempeh Works 라는 이름으로 설립되어 두부와 tempeh 를 미국시장에 소개하였다. 그 후 1984년 이름을 Lightlife 로 바꿔 현재 플렉시테리언을 위한 제품으로 tempeh, 핫도그용 소시지 그리고 햄버거 패티를 생산하고 있다. 또 하나의 대표적인 미국 회사로는 Tofurky 라는 회사가 있다. Tofurky 사는 1980년 오레곤주 포틀랜드에 건강과 지구를 위한 캠페인과 함께 설립되어 현재까지 이르고 있으며 각종 식물성 대체육 제품을 생산 판매하고 있다. 1985년에 설립된 영국의 Quorn 는 버섯균사체를 이용하여 닭고기 대체육을 생산하고 있으며 미국에서도 판매가 되고 있다. 2003년에 설립된 Gardein 은 냉동코너에서 식물성대체육제품을 판매하고 있다. 소고기뿐 아니라 닭고기와 생선가스 제품까지 생산 판매하고 있다.

다양한 형태의 식물성대체육제품이 있지만 가장 큰 시장을 차지하고 있는 대체육은 햄버거패티이다 (그림 4). 햄버거패티시장의 50%를 차지하고있는 업체는 2009년에 설립된 Beyond Meat 이다. Beyond Meat 는 미조리대학으로 부터 기술이전을 받아 texturized vegetable protein (TVP)를 자체생산하고 있으며 우수한 마케팅능력과 협력업체를 이용한 생산량 확장으로 2019년 주식이 상장되었고 현재 미국시장에서 인위적인 향과 맛에도 불구하고 식물성대햄버거패티의 관능품질의 표준제품이 되었다. 2011년 스탠포드대학 생화학교수가 시작한 Impossible Foods 는 대두의 뿌리혹박테리아가 생산하는 leghemoglobin 의 유

전자를 효모에 주입하여 유전자재조합기술을 통해 leghemoglobin 을 자체생산하고 이를 이용하여 햄버거 패티의 맛과 색상을 관리하고 있다. 혈액의 성분인 heme 을 사용하기에 맛과 색상이 고기와 가장 비슷한 제품으로 인정받고 있다. 현재 미국에서 식물성햄버거패티시장의 25%를 점유하고 있다. 이외에도 2007년부터 Nestle 사의 Sweetearth 는 Awesome Burger 라는 이름으로 식물성햄버거패티를 생산 판매하고 있으며 전세계 2위의 축산업체인 브라질의 JBS 는 Planterra Foods 라는 회사를 2019년에 설립하고 2020년 초부터 Ozo 라는 브랜드의 식물성햄버거패티를 생산하고 있으나 양사 모두 COVID19로 인해 적극적인 마케팅과 영업활동을 공격적으로 진행하지 못하고 있다. 한국회사인 풀무원은 COVID19 기간동안 미국지사내 연구소에서 식물성햄버거패티를 자체개발하고 자체생산기지내에 생산능력을 확보하여 2022년 1사분기부터 미국내 식자재/업소용 채널을 통해 판매를 진행한다.

3) 식물성단백질 원료별 분석

미국 내에서 가장 큰 식물성단백질 시장을 차지하고 있는 원료는 대두단백질이다. 대두에서 추출한 대두 단백질은 연 5.5% 정도의 성장률을 가지고 지속적으로 그 시장의 크기가 증가되고 있다 (그림 7). 대두 단백질은 대두유 추출 공정의 부산물인 대두박으로부터 추출되며 이로 인해 대두단백질 시장은 대두유 시장의 규모와 연동되어 있다. 대두유 시장은 미국의 3대 대두 회사가 그 주도권을 차지하고 있다. 따라서 대두 단백질이 생산 역시 미국의 3대 대두 회사의 사업전략에 큰 영향을 받는다.

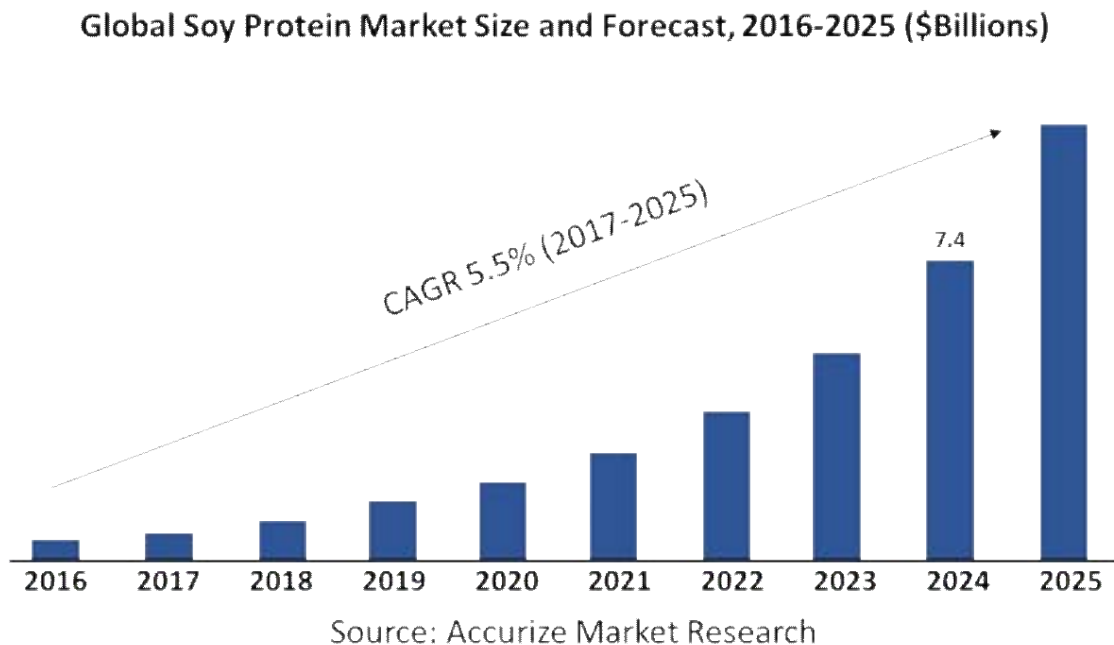
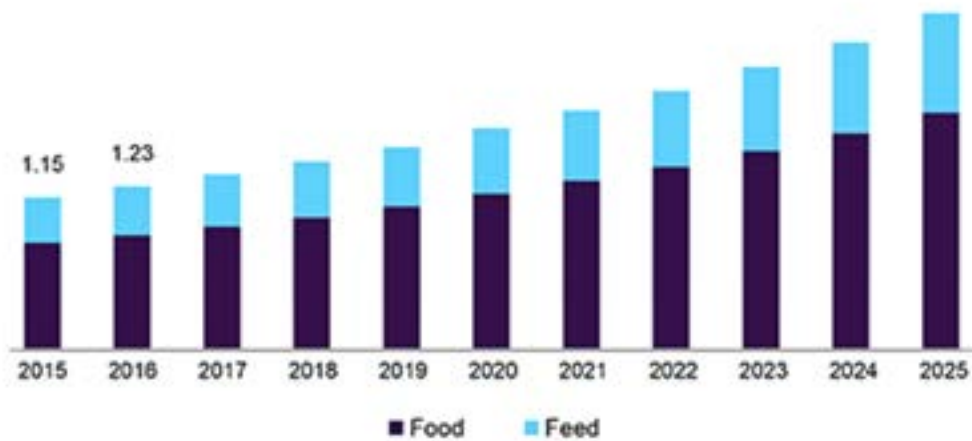


그림 7. 글로벌 대두 단백질 시장 크기 및 예측 성장률 (Accurize Market Research, 2020)

U.S. textured soy protein market size, by application, 2015-2025 (USD Billion)



Source: www.grandviewresearch.com

그림 8. 미국내 textured soy protein 의 시장 크기 (Grand View Research, 2019)

분리대두단백질은 그 자체로 큰 시장을 형성하고 있다. 80%와 90% 단백질 함량을 가진 제품이 대부분의 분리대두단백질의 시장을 형성하고 있다. 분리대두단백질 이외에는 익스트루더를 이용하여 생산한 대두 TVP 가 있다 (그림 8). 이중 대두단백질이 55% 포함되어 있는 texturized soy protein 이 가장 큰 규모를 차지하며 그외 분리대두단백질을 가공하여 단백질 함량이 65 - 70%가 되는 texturized soy protein 도 시장에 존재한다. 2021년 기준으로 약 \$1,800,000,000 USD 의 texturized soy protein 시장이 식품과 사료용으로 형성되어 있다 (연구개발특구진흥재단, 2020). 대두의 특성상 대부분의 대두단백질 가공품은 GMO 이며 non-GMO 대두를 이용한 대두단백질 제품도 계획생산을 통해 시장에 공급되고 있다. 유기농 대두단백질 가공품은 매우 작은 시장을 차지하고 있다. 주요 대두 및 대두단백질 업체는 Dupont, Cargill, ADM (Archer-Daniels-Midland), Scoular, CHS 가 있다 (연구개발특구진흥재단, 2020).

U.S. wheat protein market revenue by product, 2014 - 2025 (USD Million)

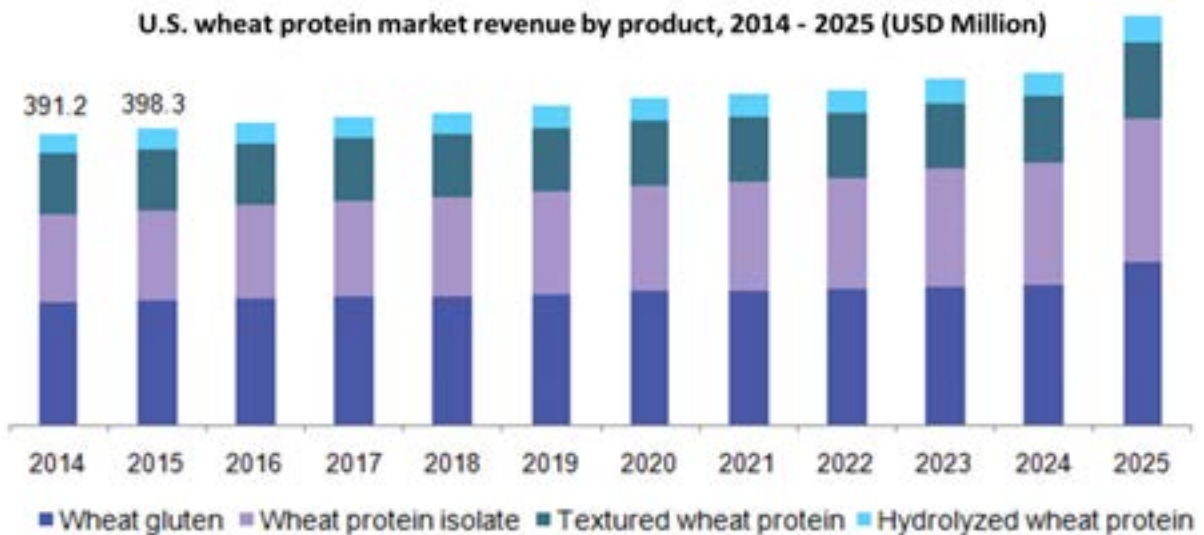


그림 9. 미국내 대두 단백질 시장 수익 및 예상 수익률 (Grand View Research, 2017)

미국에서 두 번째로 큰 식물성 단백질 시장을 차지하고 있는 원료는 밀 글루텐이다. 밀 글루텐은 밀가루 제분 공정에서 추출되며 미국내에 밀 시장에 크기를 고려할 때 밀글루텐에 시장이 식물성 단백질 시장에서 두 번째로 큰 시장을 차지하고 있는 것은 놀랄만한 일은 아니다. 밀 글루텐을 추출할 때 부산물로 밀 전분을 얻을 수 있는데 미국내의 전분 산업은 옥수수 위주의 전분 산업과 감자위주의 전분 산업 이루어져 있기 때문에 밀 전분은 미국시장에서 흔하지 않은 전분이다. 따라서 밀 글루텐 산업은 원재료 및 제조 원가가 옥수수 단백질이나 감자 단백질 혹은 쌀 단백질 보다 높을 수밖에 없다. 밀 글루텐은 그 자체의 식감이 다른 단백질과 매우 다른 쫄깃한 특성을 가지고 있다. 밀은 그 자체가 미국에서 규정한 알러지유발물질 이기에 밀 글루텐을 사용하는 것을 꺼리는 업체가 많이 있지만 그러나 빵, 햄버거빵 등의 밀가루를 사용한 산업에서는 밀 글루텐이 소량의 첨가가 문제가 되지 않는다는. 또한 햄버거와 같이 빵과 대체육제품이 함께 구성된 경우 소비자로 부터 밀 글루텐의 소량 첨가가 큰 저항을 받고 있지는 않다. 밀 글루텐은 따라서 반죽의 물성을 개선하기 위해 여러가지 제품에 사용할 수 있는 천연 첨가제이다. 밀 글루텐이 많이 포함 하게 되면 그 반죽은 쫄깃함이 더 하여지고 씹히는 질감이 강해진다. 따라서 미국에서는 제품의 조직감 중 chewiness, toughness, firmness, bounciness 등의 식감의 향상을 위해 밀 글루텐을 사용하게 된다. 밀 글루텐을 사용하며 만든 대체육은 seitan 이라는 이름으로 판매되고 있다 (연구개발특구진흥재단, 2020). Seitan 은 밀 글루텐 반죽을 견과류와 혼합한 후 증숙하고 고형화시킨 고기 대용으로 사용하는 대체육인데 미국에서는 역사가 매우 깊다. 주로 안식교에서 많이 사용하였던 식물성 대체육으로 이를 제조하기 위한 단백질 원료로 밀 글루텐이 주로 사용되었다. 밀 글루텐에 시장의 크기는 2021년 기준 \$500,000,000 USD 를 넘어서고 있다 (Grand View Research, 2017). 밀 글루텐 시장은 일반 밀 글루텐과 단백질 함량이 높은 밀 글루텐이 75%의 시장을 구성되어 있다. 이 외에도 글루텐을 이용한 TVP가 20% 정도의 시장을 점유하고 있으며 또한 감칠맛을 높이기 위해 조미료로 사용되는 효소처리 밀글루텐 가수분해물도 시장에서 전체 밀 글루텐 시장의 5% 내외를 차지 하고 있다 (그림 9). 밀 글루텐 생산에 필수적인 원료가 되는 밀가루를 취급하는 대표적인 미국제분업체로는 Cargill, ADM, ConAgra 가 있으며 이들 3대 회사가 전체 제분업계의 총생산량의 56%를 차지하고 있다. 밀 글루텐 생산업체는 ADM, Ardent Mills, KB Ingredients 가 대표적이며 그외 10 여 곳의 생산업체가 있다 (연구개발특구진흥재단, 2020).

미국에서 세 번째로 큰 시장을 차지하고 있는 식물성 단백질은 노란완두콩단백질이다. 노란완두콩단백질은 미국 북부지역과 캐나다 중부지역에서 전통적으로 사료용으로 재배되어 왔는데 10 여년 전부터 식용으로 개발이 적극적으로 이루어지면서 현재 건강식품, 근육 강화 식품, 그리고 그의 단백질 강화용 재료로 널리 사용되고 있다 (그림 10). 미국내에서 노란완두콩단백질은 2021년 기준 \$120,000,000 USD 를 차지하고 있다. 대부분의 노란완두콩단백질은 건강보조식품, 제빵 산업에 사용되며 극히 일부가 식물성 대체육의 단백질 강화제로 혹은 그 외 음료 등에 제품이 원료로 사용되고 있다. 그러나 아직도 노란완두콩은 사료용으로 더 많이 사용되고 있다. 노란완두콩에서 단백질을 분리하는 공정은 두 가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 70% 에서 80% 의 단백질 함량을 갖는 protein concentrate 원료를 생산하는 공정으로 바람을 이용하여 단백질을 분획하는 air classification 방법이고, 두 번째 방법으로 단백질 함량이 90%까지 가능한 분리 농축 단백을 생산하는 공정으로 pH 변경으로 용해도 차이를 통해 추출하는 wet classification 방법이다. 이 두 가지 방법은 노란완두콩에서 단백질을 분리할 때 뿐 아니라 감자나 대두 등에서 단백질을 추

The U.S. pea protein market size, by application, 2017-2028 (USD Million)

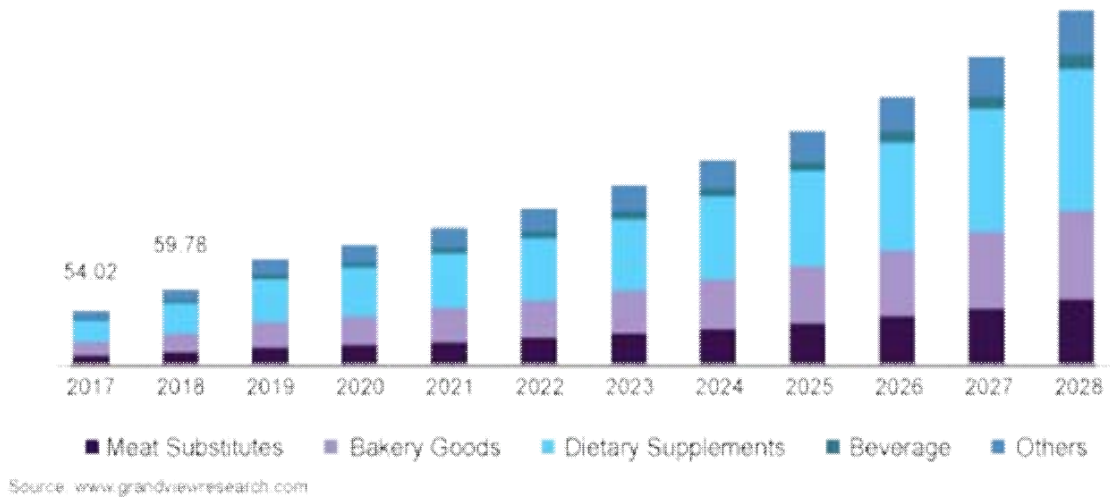


그림 10. 미국내 완두 단백질 시장 크기 및 예측 성장률 (Grand View Research, 2021)

출할 때 공통적으로 사용되는 공정이며 원리와 장비가 원료콩과 관계없이 일치한다. 따라서 노란완두콩단백질을 사업화하기 위해 추출공정이 따로 필요한 것이 아니라 대두단백질 추출업체도 시장상황에 따라 노란완두콩단백질 추출업체로 전환이 가능하다. 현재 노란완두콩단백질의 시장이 급격히 증가함에 따라 미국에서 대두단백질을 생산하는 업체들이 소규모 추출업체까지 투자 및 합병을 적극적으로 진행하고 있다. 미국 내에서 노란완두콩 사업을 가장 크게 하는 업체는 Puris 라는 업체로 과거 사료용으로 사업을 하였으나 현재 식품용까지 확대하여 전체 노란완두콩 시장의 50%를 Puris 사가 공급하고 있다. 이를 제외한 나머지 모든 소규모 제분 및 단백질 추출 업체는 현재 모두 거대 대두업체의 경영권 영향을 받고 있다. 노란완두콩단백질은 분리단백 뿐 아니라 이를 이용한 TVP 로도 시장이 확대되고 있다. 미국의 대표적인 주요 노란완두콩 및 노란완두콩단백질 업체는 Puris, ADM, Ingredion, Cargill, Kerry, Glanbia, Roquette 이 있다 (연구개발특구 진흥재단, 2020).

미국에서 대두단백질, 밀 글루텐, 노란완두콩단백질을 제외한 식물성단백질 원료는 견과류와 기타 콩과작물의 단백질이 있다 (GFI, 2021b). 견과류의 경우 단백질 추출공정없이 견과류 분말 그 자체로 단백질원으로 사용되고 있으며 기타 콩과작물은 잠두콩(faba bean), 병아리콩, 렌틸콩이 포함되며 최근 들어서 캐나다에서 호주산 루핀콩의 재배와 제분 그리고 단백질 추출산업이 매우 초기 단계로 시작되고 있다 (GFI, 2021b). 현재 미국내 거대 대두업체가 노란완두콩으로 사업을 적극적으로 확장하고 있어 노란완두콩단백질 산업에서 소기업의 자체적 사업활동이 둔화되고 있으며 이런 동향이 기타 콩과작물에 동일하게 적용된다고 가정한다면 향후 기타 콩과작물의 단백질 산업이 활발하게 될 경우 기타 콩과작물 단백질산업 역시 거대 대두업체의 영향권 아래 경영권 지배를 받게 될 전망이다. 따라서 한국식품산업계에서 식물성단백질을 이용한 사업을 성공적으로 진행하기 위해서는 안정적인 원재료구매가 가능하도록 기타 콩과작물의 수급량 확보가 중요하며 동시에 소규모 단백질 추출업체의 확보도 중요하다. 식량안보차원에서 정부 및 식품

산업협회 그리고 협회회원이 원재료와 가공공장을 확보할 수 있도록 미국내 소규모 기타 콩과작물 재배 업체와 제분업체 그리고 단백질 추출업체에 대한 적극적인 투자와 합병을 진행하여야 하며 이를 통해 거대 대두업체의 지배에서 독립할 수 있는 전략적 발판을 마련하는 것이 단기간내에 매우 절실하다.

3. 제안 및 결론

미국에서 식물성 단백질 사업의 규모는 급속도로 증가하고 있으며 그 시장 경쟁 역시 치열하다. 그러나 식물성 단백질의 핵심 원재료인 대두단백질, 노란완두콩단백질, 밀 글루텐은 이미 글로벌 곡물대기업의 사업 영향권안에 있다. 따라서 중소식품업체에게는 이들 핵심 원재료 대한 원료 확보 능력이 불투명하다는 문제점이 있다. 이를 대비하기 위한 해결방안으로 식물성 단백질 사업을 미국에서 진행할 경우 안정적인 원료 확보를 위해 식물성단백질의 원재료 선정에 대한 사업적인 전략이 필요하다. 식물성 단백질 원재료를 무엇으로 선택할 것인지 즉 대두단백질, 노란완두콩단백질, 밀 글루텐으로 할 것인지 아니면 기타 콩과작물 단백질로 할 것인지를 전략적으로 선택하여야 한다. 일단 식물성단백질에 대한 전략적 선택이 끝났으면 해당 원재료에 대한 확보 전략이 있어야 한다. 여기서 원재료 확보전략이란 식물성 단백질 확보전략만을 의미하는 것이 아니라 단백질의 공급원료인 곡류 및 콩과 원료작물 자체의 확보전략도 포함된다. 왜냐하면 현재 작물에 대한 사업을 하고 있는 대부분의 거대 곡류 회사가 이들로부터 추출한 단백질 사업까지 함께 하고 있기 때문이다. 따라서 원재료 곡물 및 콩과작물이 확보 되었으면 그 원재료를 이용하여 단백질을 추출할 수 있는 기술력과 추출된 단백질을 수급할 수 있는 역량 역시 확보하여야 한다. 여기에는 계약재배, 계약생산과 같은 소극적인 전략도 포함되고 단백질추출업체에 대한 투자, 인수, 합병과 같은 적극적인 전략도 포함된다. 식물성 단백질 원료확보가 모두 마쳤을 경우 이를 이용하여 생산하는 식물성단백질 음료, 식물성유제품, 식물성대체육 제품에 대한 차별화 전략이 있어야 한다. 원료 단백질의 특성에 따라 제품의 특성이 변화된다. 또한 공정에 따라 제품의 특성도 변화된다. 따라서 제품 차별화 전략에는 원재료 차별화 전략과 공정 차별화 전략이 있을 수 있다. 완제품에 가장 적합한 최적의 원료배합과 최적의 공정 방법을 연구개발을 통해 확보하여 기술력을 바탕으로한 제품 차별화를 확보하여야 하고 이를 통한 국제 경쟁력을 확보하여야 한다. 정리하면 두가지 전략이 우선적으로 확보되어야 한다. 하나는 고급 원재료의 안정적인 수급을 위한 원재료 확보전략이고 두번째는 우수한 제품과 수익성 확보를 위한 기술차별화 전략이다. 이를 통해 현재 미국에서 급속한 성장을 보이고 있는 식물성단백질 산업에서 한국업체가 공격적인 사업을 성공적으로 추진할 수 있게 되길 바라며 또한 향후 급격한 인구증가율에 대응하기 어려운 축산산업의 어려움을 보완하기 위해서 식물성단백질 산업의 성장을 위한 적극적인 정부의 정책과 공격적인 업계의 사업전략이 반드시 필요하다는 점을 강조한다.

참고문헌

1. 연구개발특구 진흥재단 보고서, 2020, 육류 대응 식품 시장
2. Accurize Market Research, 2020, *Soy Protein Market Global Scenario, Market Size, Outlook, Trend and Forecast, 2016 - 2025*
3. Grand View Research Report, 2021, *Pea Protein Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Hydrolysate, Isolates, Concentrates, Textured), By Application (Meat Substitutes, Dietary Supplement, Bakery Goods), By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028*
4. Grand View Research Report, 2019, *Textured Soy Protein Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product Type (Organic, Non-GMO, Conventional), By Application (Food, Feed), By Region (Europe, APAC, North America), And Segment Forecasts, 2019 - 2025*
5. Grand View Research Report, 2017, *Wheat Protein Market Analysis By Product (Wheat Gluten, Wheat Protein Isolate, Textured, Hydrolyzed), By Concentration (75%, 80%, 95%), By Application (Dairy, Bakery, Supplements, Animal Feed), And Segment Forecasts, 2018 - 2025*
6. International Vegetarian Union. 2021. <https://ivu.org/>
7. Sanitas Nut Food Company, 1989, Sanitas nut preparations and specialities, Battle Creek, Mich.: Review and Herald Pub. Co.
8. Shurtleff W, Aoyagi A, Huang HT, 2014, *History of Soybeans and Soyfoods in China and Taiwan, and in Chinese Cookbooks, Restaurants, and Chinese Work with Soyfoods Outside China (1024 BCE to 2014)*, Soyinfo Center, 2478-2479
9. SPINS Natural Enhanced Channel, SPINS Conventional Multi Outlet Channel (powered by IRI), 2020a, Plant-based category dollar sales (summary)
10. SPINS Natural Enhanced Channel, SPINS Conventional Multi Outlet Channel (powered by IRI), 2020b, Plant-based category dollar sales (detailed)
11. SPINS Natural Enhanced Channel, SPINS Conventional Multi Outlet Channel (powered by IRI), 2020c, Other plant-based dairy category dollar sales
12. SPINS Natural Enhanced Channel, SPINS Conventional Multi Outlet Channel (powered by IRI), 2020d, Plant-based meat dollar sales
13. SPINSscan Natural and Specialty Gourmet (proprietary). SPINSscan Conventional Multi Outlet (powered by IRI), 2019, Plant-based meat dollar sales
14. Sethi S, Tyagi SK, & Anurag RK, 2016, Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of food science and technology*, 53(9), 3408-3423
15. The Good Food Institute (GFI), 2020, <https://gfi.org/blog/plant-based-food-retail-sales-hit-5-billion/>
16. The Good Food Institute (GFI), 2021a, <https://gfi.org/marketresearch/#categories>
17. The Good Food Institute (GFI), 2021b, *Plant protein primer*
18. Zhao, H., Shen, C., Wu, Z., Zhang, Z., & Xu, C. (2020). Comparison of wheat, soybean, rice, and pea protein properties for effective applications in food products. *Journal of food biochemistry*, 44(4), e13157