

국내외 대체식품의 현황 및 기술

Current Status and Technologies of Alternative Foods in Korea and Abroad

이승연^{1,2,*}, 김종혁³, 허선진⁴

(Seung Yun Lee^{1,2,*}, Jong Hyuk Kim³, Sun Jin Hur⁴)

¹경상국립대학교 응용생명과학부

²경상국립대학교 농업생명과학연구원

³충북대학교 축산학과

⁴중앙대학교 동물생명공학과

¹Division of Applied Life Science (BK21 Four), Gyeongsang National University

²Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University

³Department of Animal Science, Chungbuk National University

⁴Department of Animal Science and Technology, Chung-Ang University

서론

「2050 탄소중립」 선언

식량농업기구(Food and Agriculture Organization, FAO) 및 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)에 의하면, 2018~2020년 평균 소득 대비 및 인구 증가를 고려했을 때, 2030년에 전 세계 육류 단백질 소비는 14% 증가할 것으로 보고하였다(OECD/FAO, 2022). 또한, 전 세계 육류 소비량은 1인 기준으로 0.3%(35.4 kg) 증가할 것이며, 주요 축산물인 쇠고기, 돼지고기, 가금류는 2030년까지 각각 5.9%, 13.1%, 17.8%의 성장률을 예상하기 때문에, 매년 2억 톤 분량의 육류가 추가적으로 필요할 것으로 보고하였다. 특히, 육류 추가 소비량은 가금육 소비량 증가에 의해 영향을 받을 것이라 예측하고 있다(OECD/FAO, 2022). 고소득 국가에서 동물에서 얻을 수 있는 단백질(예: 고기, 생선, 유제품, 계란 등)의 이용은 하루에 약 1.8 g으로 서서히 증가할 것이라 예측되는 반면, 개발도상국은 높은 인구 성장률로 인해 육류 소비가 고소득 국가보다 많을 것이라 예상하였다(OECD/FAO, 2021).

미래의 육류 소비 증가는 공중보건 및 환경문제, 동물 복지 및 윤리적 문제, 식량부족 등과 같은 다양한 문제와 밀접

*Corresponding author: Seung Yun Lee
Division of Applied Life Science (BK21 Four), Institute of Agriculture & Life Science,
Gyeongsang National University, Jinju 52725, South Korea
Tel: +82-55-772-3288
Email: sylee57@gnu.ac.kr

하게 관련이 있다. 공중보건측면에서 필요 이상의 육류를 섭취하게 되면, 당뇨병, 비만, 뇌졸중, 심혈관 질환, 만성 신장질환 등 다양한 질병의 위험을 초래할 수 있다는 연구가 발표된 바 있다(Khodayari et al., 2022; Mirmiran et al., 2020; Tian et al., 2017; Wang et al., 2022). 또한, 육류 소비량을 맞추기 위해 가축 사육량 증가로 인해 다양한 문제가 발생하기도 한다. 예를 들면, 첫째, 사료 곡물 생산성을 높이기 위해 사용되는 화학비료 및 살충제로 인한 환경오염이 발생할 수 있고, 사료 곡물 재배 및 가축 사육을 위한 토지 사용량을 늘리기 위해 벌목을 함으로써, 생물의 다양성 감소, 온실가스 배출 및 산림이 감소되어 기후변화를 야기할 수 있다. 둘째, 사료 곡물 재배 및 가축 사육은 많은 양의 물을 소비하기 때문에, 과한 물 사용으로 인해 물 부족 현상을 초래할 수 있다. 셋째, 반추동물의 하루 메탄가스 배출량은 151~497 g으로 (Broucek, 2017), 대기 중의 메탄 수준이 연간 17 ppb 증가한다고 예측되기 때문에(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022), 메탄가스로 인한 지구 온난화를 가속화 할 수 있다. 넷째, 육류 공급을 위한 도축 및 운송 과정에서 동물윤리 및 환경문제를 초래할 수 있다. 또한, 과거에 막대한 육류 소비량을 감당하기 위해 공장식 축산 및 비윤리적인 도살방법이 자행되어, 비위생적인 환경에 의해 가축전염병이 급속히 확산되었으며, 살처분으로 인한 환경오염이 추가적으로 발생하였다. 그러나 위와 같이 제시한 사항은 축산업의 문제로만 여겨질 것이 아니라, 다양한 요인이 영향을 주기 때문에 아직 논란의 여지가 많다.

미래의 육류 부족 문제를 해결하기 위한 방안으로 전통적인 육류단백질을 대체할 수 있는 대체식품이 주목받고 있다. 대체 단백질식품은 현재 축산식품과학에서 가장 각광받고 있는 주제 중 하나로서, 식물성 단백질, 세포 배양육, 곤충 단백질, 미생물 발효 등이 단백질 주요 원료로서 많이 연구되고 있다(Wood and Tavan, 2022). 그러나 대체식품은 상대적으로 기존 육류에 비해 맛과 질감이 부족하기 때문에, 대체단백질을 활용하여 이를 구조화하는 기술이 더욱 발전하여 기존 육류와 유사도를 높일 수 있

어야 한다. 그러므로, 본 산업지에서는 미래 육류 부족 문제를 해결할 수 있는 자원이며, 미래 식량으로서 큰 성장을 보이는 대체식품의 국내외 시장현황 및 대체식품 생산과 관련된 연구 기술 중심으로 논의해 보고자 한다.

대체식품의 주요 원료

대체식품의 주요 원료 I: 식물성 단백질

식물성 대체식품에 많이 사용되는 원료로는 종자 단백질, 곡물 단백질, 콩과 보리류 단백질, 잎(leaf) 단백질 등이 있다. 종자 단백질은 콩, 유채, 카놀라, 해바라기씨, 참깨 및 아마씨에서 얻을 수 있으며, 곡물 단백질은 밀, 옥수수, 쌀, 보리, 수수 및 아마란스(Amaranth)로부터 생산된다. 콩 단백질은 주로 분말, 단백질 농축액, 분리 대두단백의 형태로 대체육을 생산하는데 사용되고 있다. 콩의 기능적 특성은 보수력, 유화, 지방 흡수 및 겔화 하는 작용을 하며, 특히 콩 단백질 농축액과 콩 분말은 대체육을 만드는데 주로 사용된다. 콩 단백질 농축액은 알코올 추출에 의해 생산되며, 약 70% 단백질 함량을 나타내는 반면, 분리대두단백은 알칼리 추출에 의해 만들어져 산성 pH에서 침출되어 약 90% 단백질 함량을 가지고 있다. 또한, 분리대두단백 또는 농축액은 다른 콩 성분에 비해 밝은 색상을 띠며, 풍미가 담백하고(Kyriakopoulou et al., 2019), 값이 저렴하며, 수화 후 식육과 비슷한 질감을 나타내기 때문에 대체육 생산에 주로 사용되고 있다(Sun et al., 2018). 콩 단백질을 사용한 대체육은 단백질 함량이 높고 전통 식육과 유사한 영양적 가치를 가지고 있으며, 지방이나 콜레스테롤 함량이 거의 없다(Bohrer, 2019). 다음으로 자주 사용되는 식물 단백질은 밀 글루텐이며, 섬유상 단백질로 신속하게 생산될 수 있다. 또한, 밀 글루텐은 3D 네트워크 형태의 구조로 인해 대체식품의 형태를 유지하는데 도움을 주어, 대체육 개발에 중추적인 역할을 한다. 그러나 밀 단백질은 대체육을 개발하는데 역할을 하고 있지만, 어린이들에게 알레르기를 유발할 수 있으므로 사용시 유의해야 한다.

콩, 병아리콩, 렌틸콩, 완두콩에서 얻은 콩 단백질도 주요 단백질 공급원으로 사용된다. 콩 단백질은 곡물 단백질에 비해 높은 라이신(lysine) 및 트레오닌(threonine)을 함유하고 있으나, 메티오닌(methionine), 시스테인(cysteine), 트립토판(tryptophan)과 같은 황 아미노산의 함량은 낮다(Kurek et al., 2022). 콩 단백질의 기능적 특성은 유화, 겔 형성 및 폼 안정성(foam stabilization)로 식물성 단백질을 사용한 제품 제조에 긍정적인 영향을 미친다(Ettoumi et al., 2016). 분리 완두 단백질은 밀 글루텐과 결합하여 고수분 압출 방법을 통해 섬유구조를 가질 수 있다(Schreuders et al., 2019). 이와 같이 콩을 기반으로 식물성 대체단백식품을 사용하기 위한 소재가 지속적으로 개발되고 있으며, 장점을 부각시키고, 단점을 극복하기 위해, 소재 또는 첨가제 간의 조합을 연구하는 것도 필요하다고 사료된다.

대체식품의 주요 원료 II: 세포 배양육

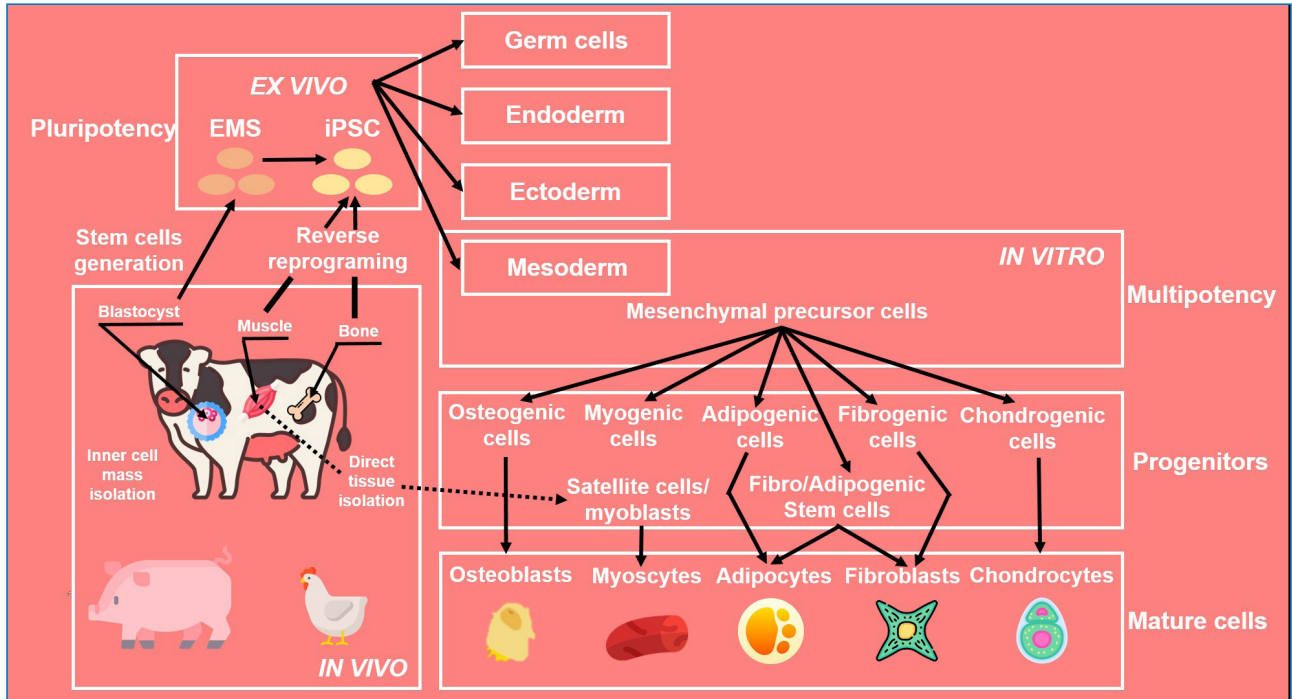
전통 식육의 근육은 결체조직과 10%의 지방과 1% 미만의 혈액으로 결합하는 근섬유로 구성되었다. 배양육 연구는 동물조직에서 획득한 세포를 줄기세포 기술을 활용하여 시작되었다(Post, 2012). 배양육을 생산하기 위해서는 초기 세포는 충분한 양이 확보되어 자가 증식되어야 하고, 분화과정을 통해 고기를 생산할 수 있도록 성숙 세포 유형의 특성을 가져야 한다. 이와 같은 이유로, 줄기세포는 배양육을 생산하는데 중요한 역할을 하기 때문에, 주요 생산원이라 할 수 있다. 줄기 세포는 성체줄기세포(adult cell)와 유도 만능 줄기세포(induced pluripotent stems cells, iPSCs)로 분류할 수 있다. 성체줄기세포는 동물의 특정 기관 및 조직이 있는 미분화 전구세포이며, 배양육을 생산하는데 사용되고 있다(Reiss et al., 2021; Ryu et al., 2022). 유도만능줄기세포는 성체의 체세포를 특정 유전자로 재프로그래밍해 줄기세포로 전환한 것으로, 근육 위성세포, 중간엽 줄기, 기질세포 및 섬유/지방 전구체 등의 다양한 유형의 세포로 재분화할 수 있으며, 3개의 전구세포는 골격근세포, 섬유아세포 및 지방

세포와 같은 하나 이상의 성숙한 세포 유형으로 분화하는데 기여한다(Pajčin et al., 2022; Reiss et al., 2021) (그림 1). 종합적으로, 배양육 생산을 위한 세포들은 크게 위성세포(satellite cells), 유도만능줄기세포(iPSCs), 배아줄기 세포(embryonic stem cells, ESCs) 및 배아줄기 세포(embryonic stem cells, ESCs)로 구분될 수 있다(Shaikh et al., 2021). 특히, 근육위성세포는 성체줄기세포 조직에서 획득할 수 있으며, 가축에서 가장 많이 획득할 수 있는 세포이다(Joo et al., 2022; Lee et al., 2022). 성체줄기세포는 동물조직에서 획득하는데 용이하고, 육류에 존재하는 필수적인 성숙 세포 유형으로 분화할 수 있지만, *in vitro* 연구에서 그들의 증식력이나 유지력은 아직 충분하지 못한 실정이다. 배아줄기세포는 세포화되면 분화를 유지하며, 무한 증식 능력을 갖기 때문에, 일정한 품질의 배양육을 생산할 수 있다는 장점이 있지만 배양방법이 까다롭고 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

대체식품의 주요 원료 III: 식용곤충

식용곤충은 인간의 음식 또는 동물 사료의 원료로 제공되는 식용자원으로서 최근 각광받고 있는 단백질 자원이다. 최근 유엔식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations)는 지구상에 100만마리 종 이상의 곤충이 있으며, 그 중 1,000여 마리 이상의 식용곤충을 발표하였다(Shockley and Dossey, 2014). 전세계적으로 가장 많이 활용되고 있는 식용 곤충은 딱정벌레목(Order Coleoptera)으로, 갈색 거저리 유충(mealworms), 붉은 야자나무바구미(sago worms), 렌즈콩 바구미(lentil weevils)가 있으며, 나방의 유충(larvae of moths), 벌 (hymenoptera), 흰개미(isoptera), 잠자리(odonata), 파리목(diptera) 등이 있다(Van Huis et al., 2013). 우리나라에서도 식용 곤충 시장의 규모가 점차 증가하고 있는 추세이다. 식품의약품 안전처는 식품 원료로 사용 가능한 식용곤충을 10종(메뚜기, 백강잠, 식용누에 유충·번데기, 갈색거저리유충, 쌍별 귀뚜라미, 흰점박이 꽃무지 유충, 장수 풍뎅이 유충,

그림 1. 배양육 생산을 위한 세포 유형, Pajčin 등 (2022)에서 재인용



아메리카 왕거저리 유충, 수벌 번데기, 풀무치)으로 인정하여 대체단백질 자원으로 활발히 활용되고 있다.








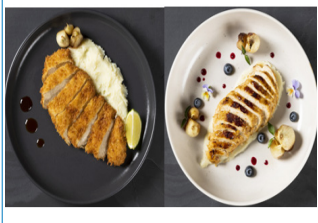
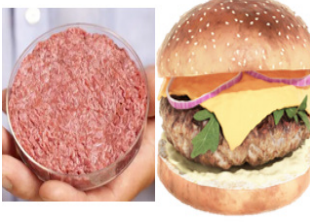

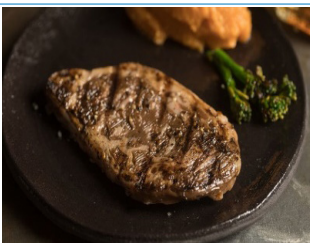
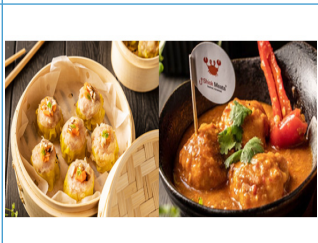
곤충은 친환경 단백질 공급원으로서, 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째, 저비용으로 대량생산이 가능하다. 곤충은 가축에 비해 작은 크기이므로 사육 공간이 크지 않아 높은 토지 이용 효율을 나타내고, 한번에 수십 개에서 수백 개의 알을 낳고, 1년에 여러 번 세대가 순환되기 때문에 단시간에 대량 생산이 가능하다. 둘째, 육류에 비해 온실가스 배출량이 거의 없고, 물과 사료를 적게 사용하기 때문에 온실가스 감축 및 자원절약에 도움이 된다. 셋째, 곤충은 고단백, 저지방의 완전식품에 가까우며, 그 외에도 다양한 아미노산, 미네랄, 비타민을 함유하고 있어, 건강에 도움을 준다(Dagevos, 2021). 실제로 “Enviroflight(미국)”, “Agriprotein(영국)”, “Bitty Foods(영국)”, “Haocheng Mealworm(중국)”, “Bugsolutely(대만)”, “Grilo(호주)” 등의 곤충 식품 제조 기업에서 식용 곤충을 이용한 대체단백식품 연구 개발에 적극적으로 투자하고 있다.

국외 주요 대체식품 개발 기업 현황

세계 대체식품 시장 규모는 2018년 96.2억 달러로 2019~2025년 연평균 9.5% 성장이 전망되고, 세계 대체식품 제품 유형 중 식물단백질 기반 제품 시장이 전체 시장규모의 87.2%의 수준으로 압도적으로 큰 규모를 차지하고 있다. 더욱이, 연평균 성장률 추세로 볼 때 곤충단백질(22.7%) 및 배양육(19.5%)이 뒤를 이어 높은 성장률을 보이고 있다(Meticulous Research, 2019)(표 1). 대체식품은 실제 육류와 유사한 조직감, 풍미, 맛을 구현하는 것을 목표로 다양한 제품을 출시하고 있다. 식물성 단백질을 활용한 대체식품은 실제 식육과 같은 질감을 형성할 뿐만 아니라, 외관, 맛 또한 육제품과 가장 유사하다.


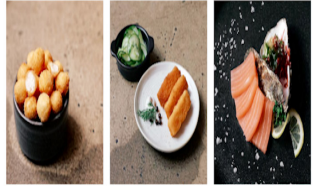










국외 시장은 다양한 대체식품이 출시될 뿐만 아니라, 연구 개발되고 있으며(표 2), 대표적인 업체로는 Beyond meat™, Lightlife™, Wholly Veggie®, Impossible Foods™ 등이 있다. 이 대표 업체들은 주로 식물성 단백질을 사용하여 대체육을 생산하였다. 식물성 대체육 중 Beyond burger는 완두콩, 녹두, 쌀 단백질을 사용하였

표 1. 국내외 대체단백식품 제품 현황

국내외 구분	업체(국가)	대체식품	업체(국가)	대체식품
국외	Impossible Foods (미국)		Vegan Finest Foods (네덜란드)	
	Beyond Meat (미국)		Eat Just (미국)	
	Bugfoundation (독일)		QUORN (영국)	
	Oatly (스웨덴)		SuperMeat (이스라엘)	
	Mosa Meat (네덜란드)		Upside Foods (구 Memphis Meat) (미국)	
	Aleph Farms (이스라엘)		Shiok Meats (싱가포르)	



(출처: 해당 업체 홈페이지 내 제품을 발췌하여 사용하였음.)

표 1. 계속

국내외 구분	업체(국가)	대체식품	업체(국가)	대체식품
	IWildType (미국)		Bluu Seafood (독일)	
국외	Essento (스위스)		Exo (영국)	
	Chapul (미국)		Next MilleniumFarms (캐나다)	
국내	롯데푸드 "제로미트"		농심 "베지가든"	
	CJ 제일제당 "플랜테이블"		신세계푸드 "Better Meat"	
	사조대림 "미트프리"		지구인컴퍼니 "언리미트"	

(출처: 해당 업체 홈페이지 내 제품을 발췌하여 사용하였음)

표 1. 계속

국내외 구분	업체(국가)	대체식품	업체(국가)	대체식품
국내	Daily Vegan '비미트'		알티스트 "고기대신"	
	더플랜잇 "잇츠베러 & XILK"		KEIL "KEIL E.I. Protein"	

(출처: 해당 업체 홈페이지 내 제품을 발췌하여 사용하였음.)

고, 코코넛, 카놀라유, 해바라기유로 지방을 첨가하였고, 육색을 내기 위해 비트 추출물을 첨가하여 제조하였다. Impossible Foods™ 은 버거, 소시지, 미트볼 등의 다양한 육제품을 출시하였으며, 콩단백질을 주 단백질원으로 사용하였다. 또한, 코코넛, 해바라기유로 지방을 첨가하였고, 산화 방지를 위해 토코페롤 및 비타민을 사용하여 제품을 출시하였다. 특히, Impossible Foods™에서 생산하는 버거는 heme 분자에서 개발된 풍미를 가지고 있어 일반 식육과 거의 흡사한 맛을 선보였다. 버거의 영양 성분은 271 kcal/100 g, 단백질 21.5 g, 총 지방 15.8 g 이었으며, 소시지는 72.8 kcal/100 g, 단백질 3.9 g, 총 지방 5.0 g이었다. 치킨 너겟은 닭고기로 만든 것보다 포화지방이 60%, 지방이 30% 적으며, 콜레스테롤을 함유하지 않은 것으로 나타났다. Wholly Veggie®에서 제조한 패티는 검은콩, 완두콩, 옥수수를 주단백질원으로 사용하였고, 120-140 kcal/100 g 저칼로리 식품으로, 탄수화물, 단백질, 지방, 나트륨, 칼슘, 철 등 다양하게 함유되어 있었다. Garden Gourmet®에서 출시된 fillet은 대두단백질을 사용하며 79-176 kcal/100 g, 17.8 g 단백질, 8.6 g 지방, 및 2.8 g 탄수화물을 함유하고 있었다. 대체적으로 식물성 단백질을 이용한 대체육제품(예: 버거,

소시지, 초리조 등)은 100 g 기준으로 79-167 kcal, 14-14.8 g 단백질, 10-13 g 지방, 2.8-4.8 g 탄수화물의 범위를 나타냈다. 대체육제품은 주로 버거, 미트볼, 패티 및 너겟이며, 가장 많이 사용되는 식물성 단백질은 대두 단백질이며, 가장 많이 사용되는 첨가유는 카놀라유와 해바라기유로 나타났다. 또한, 각 제조업체에 따라 산화 방지제로서 비타민을 첨가하는 것으로 확인되었다. 그 외 첨요소원으로 Beyond meat™과 Impossible Foods™은 식물 세포에서 추출한 천연소재인 메틸셀룰로오스(methylcellulose)를 사용하는 것으로 나타났다.

배양육을 생산하는 주요 기업은 Mosameat(네덜란드), Beyond Meat(미국), Upside Foods(구 Memphis Meats, 미국), SuperMeat(이스라엘), Believer Meat(구 Future Meat Technologies), Integriculture(일본) 등으로 알려져 있으며, 현재도 많은 기업체에서 연구 개발 중에 있다(박미성 등, 2019). Mosameat는 네덜란드 Mark Post 박사 연구팀에서 소 골격근세포에서 획득한 세포를 활용하여 최초로 배양육을 제조하였으며, 햄 버거 패티 개발 가능성을 발표하여 큰 이슈를 불러왔었다. Upside Foods(구 Memphis Meats)은 소, 닭, 오리에서 획득한 세포를 이용하여 육제품을 제조하였으며, 특

히 최초로 배양닭고기를 개발하였다. Finless Foods는 어류를 기반으로 한 배양육 생산기업으로 참치줄기세포를 이용하여 배양육 패티 제조에 성공하였다. 이스라엘의 Beliver Meat는 이전 Future Meat Technologies에서 사명이 변경되었고, 세계 최대의 배양육 공장을 건설하는데 박차를 가하고 있으며, 특히 받은 기술 및 바이오리액터를 설치하여 대량생산에 앞장 서고 있으며, 2021년 세포 배양육 안정성에 대한 미국 FDA 승인을 받았다. 일본의 Integriculture는 닭의 간세포를 배양하여 닭 푸아그라 제조에 성공하였으며, 대량 세포 배양 시스템을 사용하여 원가 절감에도 긍정적인 영향을 미친 결과를 도출하였다.

국내 주요 대체식품 개발 기업 현황

국내 대체식품 시장은 시장 도입기에 진입했으며, 국내 대체식품 시장 규모는 전년 대비 28.3% 성장할 것으로 예상되고 있다. 특히, 식물성 기반 대체식품 시장 규모는 2017년부터 15.7%씩 성장하여 향후 약 10년 후에는 2억 1,600만 달러에 이를 것으로 전망되었다(박미성 등, 2020). 식물성 기반 대체식품의 원료 유형별 시장 규모는 위의 내용과 동일하게 콩류가 전체 시장의 62% 가장 큰 비중을 차지하며, 채소 단백질성 단백질류, 곡물류 순으로

차지하였다. 2017년 이후 롯데푸드, 동원 F&B, CJ제일제당 등의 업체들이 시장에 진출하고 있으며, 다양한 제품군을 출시 중에 있다(표 2).

롯데푸드는 2019년 4월 김천공장에서 밀 단백질을 기반으로 만든 ‘제로미트 너겟’ 및 ‘제로미트 가스’를 생산하면서 “엔네이쳐 제로미트” 브랜드를 출시하였으며, 본 제품은 통밀에서 압출한 식물성 단백질로 고기의 근 섬유를 재현하고, 닭고기 특유의 쫄깃한 식감을 구현하였다. CJ 제일제당은 비건 인증을 받은 100% 식물성 제품 브랜드인 “플랜테이블”을 출시하였으며, 식물성 기반 원재료 및 오일을 사용하여 ‘비비고 플랜테이블 왕교자 및 김치왕교자’ 제품을 생산하였다. 농심도 비건 식품 브랜드인 “베지가든”을 출시하였으며, 주 원료는 완두콩, 병아리콩, 코코넛 오일 등의 식물성 단백질을 원료로 하여 ‘베지가든 바삭탕수육’, ‘베지가든 텐더스테이크’, ‘베지가든 식물성 체다치즈 슬라이스’ 등의 제품을 개발하였다. 동원 F&B는 미국의 대표적인 대체육 회사 Beyond meat™와 2018년 후반기에 독점 공급계약을 체결하여 ‘비욘드 버거’가 국내 시장에 진출하였고, 이후에 ‘비욘드 비프’와 ‘비욘드 소시지’를 추가로 출시하여 브랜드 라인업을 확대하는데 기여하였다. 사조대림은 ‘대림선 0.6채 담만두’를 출시하여 국내 만두 유통사 최초로 한국비건인

표 2. 세계 대체식품 제품 유형별 시장 규모

단백질 기반 제품 구분	2017년	2018년	비중	2019년	2025년	연평균 성장률
식물	7,890.8	8,395.8	87.2	8,962.5	14,319.8	8.1
곤충	514.8	607.5	6.3	722.9	2,470.1	22.7
해조류	485.1	517.6	5.4	553.8	894.0	8.3
미생물	98.2	102.2	1.1	106.5	143.1	5.0
배양육	0.0	0.0	0.0	0.0	31.6	19.5
전체	8,989.0	9,623.1	100.0	10,345.7	17,858.6	9.5

(출처: Meticulous Research, 2019)

증원에서 비건만으로 인증받은 바 있다. 지구인 컴퍼니는 병아리콩, 퀴노아, 렌틸콩을 주원료로 사용하여 고단백 식물성 고기 제품 브랜드인 “Unlimate(언리미트)”를 출시하였으며, 단백질 함량이 높고 지방함량이 적은 식물성 슬라이스 고기 제품을 개발하였다. ALTist™(알티스트)는 식물성 단백질 기반으로 “고기대신”을 출시하였으며, 식물성 단백질 및 오일을 원료로 사용하여 ‘비건 양념갈비’, ‘비건 육포’, ‘비건 제육볶음’ 등의 상품을 출시하였으며, 식물 특유의 이취를 제거한 기술 및 식품 조성물과 관련한 내용으로 특허를 보유하고 있다. 또한, 더플랜잇은 식물성 기반 유제품 “잇츠베리”를 출시하였으며, 국내 유일 영국 채식협회 정식 비건 인증을 받은 마요네즈 ‘잇츠 베리마요’ 제품 및 100% 식물성 대체우유 ‘XiLK’ 제품을 개발하였다. 또한, 더플랜잇은 단백질 변성을 억제하여 우수한 품질을 갖는 클린 라벨 콩 분말의 제조 방법과 관련된 특허를 보유하고 있다.

국내 세포배양육 개발 업체는 초기 연구단계이며, 연구 기술 수준은 미국에 비해 60% 수준이지만, 최근 대기업, 벤처기업들의 연구개발과 투자가 이루어지고 있어 성장 가능성이 점차 높아지고 있다. 현재 국내 배양육 업체는 셀미트, 다나그린, 씨워드, 스페이스에프, 셀미트, 노아 바이오텍, 이원다이애그노믹스 등이 있으며, 대기업(예시: CJ 제일제당, 대상)들의 연구개발과 투자가 이루어져 성장 가능성이 높은 시장으로 전망되고 있다. CJ 제일제당은 2021년 이스라엘의 ‘알레프 팜스’라는 세포 배양육 기술 스타트업에 투자하였으며, 배양육에 활용가능한 배지소재 개발 및 공급을 담당하여 생산능력을 확보할 예정이다. 대상기업은 배양육 및 배양배지 개발업체인 스페이스에프, 엑셀세라퓨틱스와 계약을 맺어 배양육 배지 개발 및 배양 공정 확립을 통해 경쟁력을 확보할 예정이다. 스페이스에프는 돼지 배아 줄기세포로부터 세포를 추출하여 배양육 생산 기술 및 무혈청 배양배지 개발 등의 특허와 원천기술을 보유하고 있어, 대기업과 업무 협약을 맺으며 활발하게 공동 개발 중에 있다. 셀미트는 무혈청 세포배양액을 사용하여 세계 최초로 배양 세포를 활용한 독도 새우를 개발하였다. 더 나아가 배양육 세포 배양육

지지체 제작하는 기술을 개발한 이원다이애그노믹스, 다나그린, 씨워드 업체를 포함하여 국내 세포 배양육 개발 업체들은 배양육 시장 활성화를 위하여 구심점 역할을 하고 있다.

식용 곤충을 활용하여 출시한 케일은 갈색거저리 및 귀뚜라미에서 추출한 건조분말, 단백질 추출농축액, 오일을 개발하였고, 퓨처푸드랩은 귀리와 고소에 분말을 사용하여 고단백 분말 셰이크 제품 ‘더 고귀함 고소에 셰이크’를 출시하였다.

대체식품 기술 연구 현황

식물성 단백질 기반 대체식품 연구 기술

식물성 단백질을 기반으로 한 대체식품 개발은 조직화 기술을 적용한 연구가 많이 진행되고 있다. 식물성 단백질을 조직화한 형태를 식물성 조직 단백질(texturized vegetable protein, TVP)라 불리고 있으며, 전통 식육과 유사한 식감을 구현하여 식물성 대체육과 같은 제품을 제조하는데 핵심이 되는 기술이라 할 수 있다.

가장 대표적인 조직화 기술인 압출 성형 기술은 수분, 고온, 기계적 전단력 등을 사용하여 최종적으로 대체식품을 생산한다. 이 공정은 원재료의 건물에서 압출기 및 고온작용을 통해 단백질 구조(섬유소)를 재배열하여 단백질 형태를 쉽게 얻을 수 있으며, 획득한 단백질은 다양한 형태의 최종 제품을 생산하는 원료로서 활용될 수 있다. 즉, 식물성 단백질은 일반적으로 구형의 형태를 갖지만, 압출 성형 공정을 통해 반죽의 형태로 가공될 수 있다. 트윈스크류(twin-screw) 압출기는 섬유상 단백질 분자를 재배열한 후에 최종단계에서 가교(crosslinking)를 유도하여 실제 고기와 유사한 분자 구조를 구현한다(Samard et al., 2019). 이전 연구에서도, 제품 압출 과정에서 발생하는 팽창 조건을 최소화하는 조건으로 이중 압출 장치 사용하여 탈지 콩 분말과 같은 식물성 기반 단백질과 물을 혼합한 결과, 밀도가 높고, 꼬임형태가 아닌 수직적인 섬유상 상태의 식물성 기반 대체식품을 개발하였

다(Osterhaus and Smith, 1976). 압출공정은 종류에 따라 수분함량 및 die(다이, 제품 모양을 정해주는 부위)를 결정하고, 크게 저수분 및 고수분 압출 공정으로 구분할 수 있다. 저수분 압출공정은 수분함량이 50% 이하이며, 짧은 다이를 사용하는 반면에, 고수분 압출공정은 수분함량이 50% 이상인 냉각 다이를 사용한다(Vatansever et al., 2020). 특히, 식물성 기반 대체식품은 주로 고수분 압출공정이 사용되는데, 이는 조직이 팽화되지 않기 때문에 육류와 같은 조직감을 구현하는 데 주로 사용된다(정아현 등, 2021). 콩 단백질 농축액에 미세조류(30% 수준)를 혼합하여 고수분 압출 공정(수분 60%)을 거친 결과, 저항성의 미세조류 세포벽 및 증가된 지방량으로 인해 가장 적합한 섬유 구조를 형성한 것으로 나타났다(Caporgno et al., 2020). 또한, 밀 단백질을 수분함량을 달리한 압출공정 및 트윈스크류를 이용하여 정형한 결과, 휘발성 향미 물질이 생성되고, 고기 대체물의 풍미 특성(미세구조, 단백질 2차 구조, 단백질 결합력 및 수분)에 영향을 주는 것으로 나타났다(Guo et al., 2020). 그러므로 압출조건은 대체육의 맛과 조직감에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한, 고수분 압출 공정 및 전단 셀 공정(shear cell processing)은 혼합 및 수화, 열처리, 냉각 순으로 진행되어 섬유조직, 식육과 유사한 식감을 나타낸다(Cornet et al., 2022). 게다가 전단 셀 공정은 기존 압출성형 방식의 기술을 대체할 수 있는 기술로, 전단력이 가해지면 식육과 유사한 섬유상 구조 및 성분의 분리를 촉진할 수 있다. 전단 셀 기술은 전단열(강한 외압을 받으면 열로 변하는 성질)을 사용하여 단백질을 특정 방향으로 정렬시켜, 식육과 비슷한 질감과 조직을 만든다. 완두콩 단백질분리액은 밀 글루텐과 혼합되어 섬유 형태가 만들어졌고, 140°C에서 처리하여 밀 글루텐으로 분리된 완두콩 단백질은 콩 단백질 분리액과 유사한 강도를 나타내며, 조리된 닭고기와 유사한 섬유질 구조를 나타냈다(Schreuders et al., 2019). 이와 같이 전단 셀 기술은 원료별 가공 특성에 대한 연구를 통해 전단 장치에 사용되는 장치와 원료간의 적합성을 파악하여 효율성을 더 증가할 필요가 있다. 이 외에도, 대체식품 생산을 위한 섬유상

단백질 제조 공정으로 습식방사(wet spinning), 전기방사(electrospinning)가 있으며, 대부분의 구조화 기술은 섬유상 제품의 이방성 구조화(structuring anisotropy) 및 단백질 구조의 정렬 형태에 초점을 맞추어 식물성 기반 단백질을 활용한 대체식품 생산에 크게 영향을 미치는 것으로 사료된다.

세포 배양육 기반 대체식품 개발 기술

세포 배양육의 생산 공정 및 기술은 배양 및 분화 배지, 지지체, 바이오리액터, 3D 바이오 프린팅 등이 있으며, 이들은 동물에서 획득한 다양한 세포에 적용하여 최종적으로 세포 배양육을 생산할 수 있다.

지지체는 세포 증식과 분화에 필요한 요소로 미세담체(microcarrier) 및 스캐폴드(scaffold)가 주로 사용되고, 대체육 제조를 위한 섬유상 구조 형성에 큰 역할을 하고 있다. 미세담체는 일반적으로 생물반응기(bioreactor)와 함께 사용되며 배양배지와 혼합된다. 미세담체는 세포 외 기질과 유사하게 설계되어 세포가 잘 부착되도록 한다. 이전에는 주로 플라스틱 재료로 사용되어 왔으나, 현재는 식용재료인 텍스트란 및 젤라틴이 많이 사용되고 있다. 스캐폴드는 세포 성장 후 분리되거나 식용이 가능한 재료를 사용하여 배양육 생산에 이용된다. 지지체는 식물(예시: 탈세포화 식물, 다공성을 가진 식물 단백질) 또는 동물(예시: 젤라틴)에서 획득한 천연소재이거나 합성제(예시: 폴리머, 다당류, 폴리에테르 화합물, 고분자 공중합체)로 만들어진다(Lee et al., 2022). 미세담체는 주로 다진 고기 형태, 스캐폴드는 덩어리 고기 형태의 배양육 생산에 주로 사용되고 있다(윤성용, 2021).

배양육의 3D 프린팅 공정은 기존 식육과 비교하여 고도로 구조화된 육제품 생산에 크게 기여할 수 있을 뿐만 아니라, 단백질, 지방 및 영양성분을 조절할 수 있기 때문에, 소화에 어려움을 겪거나 영양 공급이 필요한 특정 그룹에 적용할 수 있는 특수 식품을 제조하는데 도움을 줄 수 있다(Sher and Tutó, 2015). 3D 프린팅으로 만든 지지체는 소 위성세포 성장 및 분화를 증가시켜 배양육 생

산에 긍정적인 영향을 나타냈다(Ianovici et al., 2022). 그러므로, 3D 바이오프린팅은 세포 및 지지체를 제조하여 배양육 제조를 위한 세포 성장, 증식성, 근관 형성 및 분화를 증가시키는 성장환경을 구축한다고 볼 수 있다. 이와 같이 배양육 생산을 위한 기술은 여전히 개발되고 있으며, 식육의 구조와 식감의 특성을 잘 구현하기 위한 추가 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

식용곤충 기반 대체식품 개발 기술

식용곤충은 크게 3가지 가공기술을 통해 대체식품 개발이 이루어지고 있다. 첫번째는, 원재료 건조 가공 기술이며, 건조 또는 분말 형태의 가공기술로 식용 곤충 섭취를 위해 주로 활용되고 있다. 이 공정은 제품 내 수분활성도가 낮아져 장시간 보관이 가능하며, 원물에 비해 크기가 작아지기 때문에 운반이 용이한 장점이 있다. 또한, 낮은 수분함량은 식품에 활용될 때, 미생물학적 안전성, 생리활성 소재 생산, 향미와 같은 품질 특성을 개선시킬 수 있다(Hernández-Álvarez et al., 2021). 건조 공정은 태양건조, 동결건조, 열풍건조, 훈제 건조 및 로스팅 등 다양하며, 식용곤충은 데치기, 펄스 전기장, 마이크로파 건조 등의 방법으로 전처리를 거치게 된다(Hernández-Álvarez et al., 2021). 이 중 동결건조 공정은 곤충시료 내의 냉동수를 승화시켜 얼음을 제거하여 건조시키는 공정으로 압력 및 가열의 영향을 받지 않는다. 그러므로 이 공정은 식품의 외관 및 감각 특성을 유지하여 성분 변화에 영향을 주지 않는다는 큰 장점을 가지고 있다. 이전 연구를 통해, 동결건조 귀뚜라미 분말은 열건조 귀뚜라미 분말보다 물과 기름의 저장능력 및 안정성을 포함한 높은 기술적 특징을 가지고 있는 것으로 나타났다(Lucas-González et al., 2019).

두번째는, 단백질 가공기술이며, 식용곤충의 주 영양성분인 단백질을 적극적으로 활용할 수 있는 기술이다. 상대적으로 식용곤충의 원물을 건조하여 판매하는 경우, 곤충 외형에 대한 포비아가 작용하게 되면 소비자의 기호도를 만족할 수 없기 때문에, 소비자들이 직관적으로 볼 수

없게 곤충 단백질을 이용하여 식품에 포함시키는 것이 식용 곤충을 더 쉽게 소비할 수 있을 것이다. 식용곤충의 단백질 성분 분석 연구에 따르면 필수 아미노산 함량이 대두 단백질의 함량과 거의 비슷하게 나타났으며, 품질 및 겔 생성 능력이 우수하여 식품으로 활용되게 적합하다는 연구가 발표되었다(Yi et al., 2013).

세번째는, 오일류 가공기술이며, 단백질 분리과정에서 생성되는 오일을 얻는 과정이다. 오일 추출방법은 초임계 CO₂(supercritical- CO₂)추출 방법, 초음파(ultrasound) 추출, 수용성 추출, Soxhlet 추출이 있다. 특히, 초임계 CO₂추출은 용질의 산화 감소, 저온 과정으로 인한 가열에 민감한 성분 추출이 가능, 변동 조건에 의한 선택적 용매 사용 등의 장점이 있다(Purschke et al., 2017). 기존의 비극성 용매 추출법의 대안으로서, 초음파 처리는 용매 사용으로 인한 유해물질 노출 위험성을 감소시켜 환경 보존 및 생산 증가에 기여할 수 있다. 또한, 초음파 추출에 의한 오일은 다불포화 지방산이 다량 함유되어 있으며, α -리놀렌산 함량이 많은 것으로 나타났다(Sun et al., 2021). 그러므로, 식용곤충에서 획득한 유지 또한 중요한 지방 공급원으로 사용될 수 있으며, 미래 대응 식품 전략에 기여할 수 있다.

식용 곤충 기반 단백질은 고수분 압출공정을 통해 섬유상 구조를 형성하여 대체육 생산에 활용될 수 있으며, 3D 프린팅 기술을 적용하여 밀가루와 마이크로파 건조 단백질을 함유한 파자는 녹말 부착 특성 및 곤충 단백질 응고에 따라 경도가 증가하는 것으로 나타나, 구조화 공정을 혼합한 연구도 제시되었다(Severini et al., 2018; Smetana et al., 2018). 그러나 식용곤충을 대체식품으로 활용되기 위해서는 곤충 포비아와 같은 소비자의 인식을 개선할 수 있는 노력이 필요하며, 영양 및 독성, 안정성 검증에 대한 대응이 필요하다고 판단된다.

대체식품 시장의 성장은 축산업의 위기를 가져올 것이라는 의견이 다수 존재하여 축산업계와의 갈등이 여전히 지속되고 있는 상황이다. 그러나, 이 주요 갈등에 초점을 맞추기 보다는 국내 축산업계는 고품질 축산물을 생산하고, 동물복지 및 환경친화적인 축산업 발전을 위해 더 노력해

야 하며, 대체식품의 적합한 명칭과 안전성 검증 체계 구축을 명확하게 하여 상호 발전할 수 있는 방안에 더 초점을 맞추는 것이 미래 축산업 발전을 위한 것이라 생각된다.

참고문헌

1. Bohrer BM. 2019. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness* 8:320–329.
2. Broucek J. 2014. Production of methane emissions from ruminant husbandry: A review. *Journal of Environmental Protection* 5:1482.
3. Caporgno MP, Böcker L, Müssner C, Stirnemann E, Haberkorn I, Adelman H, Handschin S, Windhab EJ, Mathys A. 2020. Extruded meat analogues based on yellow, heterotrophically cultivated *auxenochlorella protothecoides* microalgae. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 59:102275.
4. Cornet SH, Snel SJ, Schreuders FK, Van Der Sman RG, Beyrer M, Van Der Goot AJ. 2022. Thermo-mechanical processing of plant proteins using shear cell and high-moisture extrusion cooking. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62:3264–3280.
5. Dagevos H. 2021. A literature review of consumer research on edible insects: Recent evidence and new vistas from 2019 studies. *Journal of Insects as Food and Feed* 7:249–259.
6. Ettoumi YL, Chibane M, Romero A. 2016. Emulsifying properties of legume proteins at acidic conditions: Effect of protein concentration and ionic strength. *LWT—Food Science and Technology* 66:260–266.
7. Guo Z, Teng F, Huang Z, Lv B, Lv X, Babich O, Yu W, Li Y, Wang Z, Jiang L. 2020. Effects of material characteristics on the structural characteristics and flavor substances retention of meat analogs. *Food Hydrocolloids* 105:105752.
8. Hernández-Álvarez AJ, Mondor M, Piña-Domínguez IA, Sánchez-Velázquez OA, Melgar Lalanne G. 2021. Drying technologies for edible insects and their derived ingredients. *Drying Technology* 39:1991–2009.
9. Ianovici I, Zagury Y, Redenski I, Lavon N, Levenberg S. 2022. 3d-printable plant protein-enriched scaffolds for cultivated meat development. *Biomaterials* 284:121487.
10. Joo ST, Choi JS, Hur SJ, Kim GD, Kim CJ, Lee EY, Bakhsh A, Hwang YH. 2022. A comparative study on the taste characteristics of satellite cell cultured meat derived from chicken and cattle muscles. *Food Science of Animal Resources* 42:175.
11. Khodayari S, Sadeghi O, Safabakhsh M, Mozaffari-Khosravi H. 2022. Meat consumption and the risk of general and central obesity: The shahedieh study. *BMC Research Notes* 15:339.
12. Kurek MA, Onopiuk A, Pogorzelska-Nowicka E, Szpicier A, Zalewska M, Póltorak A. 2022. Novel protein sources for applications in meat-alternative products—insight and challenges. *Foods* 11:957.

13. Kyriakopoulou K, Dekkers B, Van Der Goot AJ. 2019. Plant-based meat analogues. In Sustainable meat production and processing. Elsevier.
14. Lee DY, Lee SY, Jung JW, Kim JH, Oh DH, Kim HW, Kang JH, Choi JS, Kim GD, Joo ST, Hur SJ. 2022. Review of technology and materials for the development of cultured meat. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*:1–25.
15. Lucas-González R, Fernández-López J, Pérez-Álvarez JA, Viuda-Martos M. 2019. Effect of drying processes in the chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from house cricket (*Acheta domesticus*). *European Food Research and Technology* 245:1451–1458.
16. Meticulous Research. 2019. Alternative protein market by stage/type (insect, algae, duckweed, lab meat, pea, rice, potato, corn, soy, wheat, corn, mycoprotein, mushroom), application, and geography – global forecast to 2025. . Market Research.
17. Mirmiran P, Yuzbashian E, Aghayan M, Mahdavi M, Asghari G, Azizi F. 2020. A prospective study of dietary meat intake and risk of incident chronic kidney disease. *Journal of Renal Nutrition* 30:111–118.
18. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2022. U.S. Department of commerce, increase in atmospheric methane set another record during 2021.
19. OECD/FAO. 2021. *Oecd-fao agricultural outlook 2021–2030*, Oecd Publishing, Paris.
20. OECD/FAO. 2022. *Oecd-fao agricultural outlook 2022–2031*.
21. Osterhaus EJ, Smith OB. 1976. Method of preparing dense, uniformly layered vegetable protein meat analogue. Google Patents.
22. Pajčin I, Knežić T, Savic Azoulay I, Vlajkov V, Djisalov M, Janjušević L, Grahovac J, Gadjanski I. 2022. Bioengineering outlook on cultivated meat production. *Micromachines* 13:402.
23. Post MJ. 2012. Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science* 92:297–301.
24. Purschke B, Stegmann T, Schreiner M, Jäger H. 2017. Pilot-scale supercritical co2 extraction of edible insect oil from tenebrio molitor l. Larvae–influence of extraction conditions on kinetics, defatting performance and compositional properties. *European Journal of Lipid Science and Technology* 119:1600134.
25. Reiss J, Robertson S, Suzuki M. 2021. Cell sources for cultivated meat: Applications and considerations throughout the production workflow. *International Journal of Molecular Sciences* 22:7513.
26. Ryu M, Kim M, Jung HY, Kim CH, Jo C. 2022. Effect of p38 inhibitor on the proliferation of chicken muscle stem cells and differentiation into muscle and fat. *Animal Bioscience* 36:295–306.
27. Samard S, Gu BY, Ryu GH. 2019. Effects of extrusion types, screw speed and addition of wheat gluten on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99:4922–4931.
28. Schreuders FK, Dekkers BL, Bodnár I, Erni P, Boom RM, Van Der Goot AJ. 2019. Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation. *Journal of Food Engineering*

- 261:32-39.
29. Severini C, Azzollini D, Albenzio M, Derossi A. 2018. On printability, quality and nutritional properties of 3d printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International* 106:666-676.
 30. Shaikh S, Lee E, Ahmad K, Ahmad S-S, Chun H, Lim J, Lee Y, Choi I. 2021. Cell types used for cultured meat production and the importance of myokines. *Foods* 10:2318.
 31. Sher D, Tutó X. 2015. Review of 3d food printing. *Temas de disseny* 31:104-117.
 32. Shockley M, Dossey AT. 2014. Chapter 18 - insects for human consumption. In *Mass production of beneficial organisms*. Morales-Ramos JA, Rojas MG, Shapiro-Ilan DI (eds.). Academic Press, San Diego.
 33. Smetana S, Larki NA, Pernutz C, Franke K, Bindrich U, Toepfl S, Heinz V. 2018. Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion. *Journal of Food Engineering* 229:83-85.
 34. Sun C, Ge J, He J, Gan R, Fang Y. 2021. Processing, quality, safety, and acceptance of meat analogue products. *Engineering* 7:674-678.
 35. Sun M, Xu X, Zhang Q, Rui X, Wu J, Dong M. 2018. Ultrasonic-assisted aqueous extraction and physicochemical characterization of oil from *Clanis bilineata*. *Journal of Oleo Science* 67:151-165.
 36. Tian S, Xu Q, Jiang R, Han T, Sun C, Na L. 2017. Dietary protein consumption and the risk of type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Nutrients* 9:982.
 37. Van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. Edible insects: Future prospects for food and feed security. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
 38. Vatansever S, Tulbek MC, Riaz MN. 2020. Low-and high-moisture extrusion of pulse proteins as plant-based meat ingredients: A review. *Cereal Foods World* 65:12-14.
 39. Wang M, Ma H, Song Q, Zhou T, Hu Y, Heianza Y, Manson JE, Qi L. 2022. Red meat consumption and all-cause and cardiovascular mortality: Results from the UK Biobank study. *European Journal of Nutrition* 61:2543-2553.
 40. Wood P, Tavan M. 2022. A review of the alternative protein industry. *Current Opinion in Food Science* 47:100869.
 41. Yi L, Lakemond CM, Sagis LM, Eisner-Schadler V, Van Huis A, Van Boekel MA. 2013. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry* 141:3341-3348.
 42. 박미성, 박시현, 이용선. 2020. 대체식품 현황과 대응과제. In: 한국농촌경제연구원 (ed.). KREI 농정포커스
 43. 박미성, 이용선, 김경필, 박시현, 한정훈. 2019. 식품산업의 푸드테크 적용실태와 과제-대체축산식품과 3d 식품 프린팅을 중심으로. 한국농촌경제연구원.
 44. 윤성용, 조해주, 이경분. 2021. 대체육(代替肉). KISTEP 기술동향브리프.