배양육 산업의 국내외 동향: 기술, 규제, 기업 전략의 통합 분석

이솔희 · 박상훈 · 박규태 · 오세혁 · 최정석*

충북대학교 축산학과

Integrated analysis of global and domestic trends in cultured meat industry: Technology, regulation, and corporate strategy

Sol-Hee Lee, Sanghun Park, Gyutae Park, Sehyuk Oh, Jungseok Choi†

Department of Animal Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

Abstract

Cultured meat, produced by proliferating and differentiating animal cells *in vitro*, has emerged as a promising alternative to conventional livestock production, addressing pressing concerns about environmental sustainability, animal welfare, and food security. Since the first public unveiling of a cultured beef burger by Mark Post in 2013, the industry has rapidly expanded, with approximately 174 companies worldwide as of 2023. Despite its potential, challenges such as high production costs, reliance on fetal bovine serum (FBS), and regulatory hurdles persist. This review provides a comprehensive overview of recent technological advancements in cell line development, culture media optimization, bioreactor design, and scaffold engineering. It also analyzes the regulatory frameworks and approval processes in major regions including Korea, the European Union, the United States, and Israel. Furthermore, strategic approaches of leading domestic and international companies are discussed, highlighting innovations aimed at cost reduction and scalability. The findings suggest that successful commercialization of cultured meat will require not only technological breakthroughs but also coordinated efforts in regulatory alignment, public acceptance, and cross-sector collaboration. By addressing these multidimensional challenges, cultured meat is poised to become a pivotal solution for sustainable food systems in the future.

Key words: cultured meat, cellular agriculture, sustainability, regulation, consumer acceptance

Ⅰ. 서론

세포배양육(cultured meat)은 가축에서 유래한 세포를 체외에서 증식·분화시켜 제조한 고기로, 실험실 조건에서 근육세포를 배양하여 생산된다. 2013년 네덜란드의 과학자 Mark Post가 세계 최초로 시제품을 공개한 이후, 전 세계적으로 약 174개의 관련 기업이 설립되었으며, 미래 식량 자원으로서 큰 주목을 받고 있다. 도축 과정을 거치지 않기 때문에 3Rs(replacement, reduction, refinement) 원칙을 충족해 동물 복지를 향상시킬 수 있고, 일부 종교권에서도 할랄·코셔 등의 기준 충족 시 조건부 수용이 논의되고 있다. 시장 조사업체들은 2040년경 대체육 시장에서 배양육이 최대 60%까지 점유할 것으로 전망한다. 이러한 성장은 지속적인 원천 기술 개발과 생산 시스템 최적화를 통해 한층 가속화될 것으로 보인다. 하지만, 제조 공정에서 소태아 혈청(fetal bovine serum, FBS)을 사용하는 윤리적 문제와 높은 생산 비용은 대량 상용화의 주요 제약 요인으로 지적된다. 본 글에서는 세포배양육의 최신 기술 동향, 규제 환경, 그리고 주요 기업의 전략을 종합적으로 제시하고자 한다.

Ⅱ. 본론

2.1. 세포 배양육의 정의 및 필요성

2.1.1. 세포 배양육의 정의

배양육은 동물세포를 체외 배양하여 생산한 식육을 말하며, 재배육이라고도 불린다. 근육 세포를 배양 배지에서 성장시키며 배양 배지뿐만 아니라 영양소, 온도, 산소, 지지체 등과의 접촉과 같은 여러 조건을 충족시키며 실험실 조건에서 생산된 고기를 말하며(그림 1), 소비자가 원하는 고기의 생산이나 동물의 살생과 관련이 없는 단백질원 이용이 가능하다. 2013년 네덜란드 과학자 Mark Post가 최초의 배양육을 선보인 이래로, 전 세계적으로(※2023년 기준) 현재 약 174개의 회사가 설립될 만큼 투자가치와 전망이 있으며, 미래 식량으로써의 기대 가치가 높은 미래 단백질 식품이다.

2.1.2. 세포 배양육의 등장 배경

세포 배양육의 등장 배경은 크게 환경오염, 인구증가, 윤리적 문제가 있다. 환경오염에 대한 관점에 의하면, 세계 총 소비량과 1인당 육류 소비량이 지속적으로 증가함에 따라서 더 많은 가축 두수가 증가하게 되고, 이에 따라 물, 토지, 에너지와 같은 자원의 소모가 지금보다 훨씬 극심해진다. 이로 인한 자원 고갈의 문제점이 발생할 수 있다. 특히 소와 같은 반추동물의 경우 트림이나 가스에 따른 온실가스의 발생과 돼지와 닭의 경우 암모니아에 의한 공기 오염이 심각한 실정이며, 가축 배설물 처리도 매년 문제를 일으키고 있는 축산 문제점 중 하나이다. 또한, UN Food and Agriculture Organization에 따르면, 2025년 육류 시장에서 대체육이 10%를 차지하며, 이 중 배양육이 35% 수준으로 높은 점유율을 가질 것이라고 보고하였다.

인구 증가에 따른 문제점에 대한 관점에서, 글로벌 컨설팅기업 AT Kearney에 따르면 글로벌 육류 시장

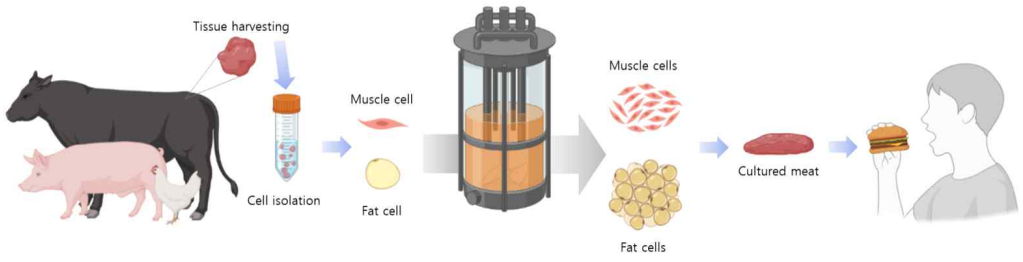


그림 1. Bio-reactor를 이용한 배양육 제조 과정 모식도.

내 2030년 30%였던 대체육 비중 전망은 2040년에 60%에 이를 것이라고 하였으며, 이에 따라 식물성 단백질뿐만 아니라 배양육의 생산 및 소비가 지속적으로 증가할 것으로 보인다. 따라서 배양육을 미래 단백질 자원으로 생산하기 위해서 지금부터 지속적으로 연구 및 생산하고, 이에 대한 제조 규제 등을 갖출 할 필요가 있다(Reis 등, 2022).

마지막으로 윤리적 관점에 따르면, 우리나라 채식 인구(※약 150만 명 중 2,300명 대상으로 조사; Kim 등, 2022)의 채식을 하는 이유 중 건강 다음으로 동물 윤리로 인해서 한다는 이유가 2번째로 높은 비중을 차지하였다. 이는 대체육이나 배양육의 소비 증진을 기대할 수 있는 요인 중 하나이다. 또한 동물 복지의 향상에 따라서 동물 희생의 최소화나, 3R의 원칙과 유사하게 배양육은 '고기 생산의 대체'를 구현할 수 있다.

2.1.3. 세포 배양육의 효율성

배양육은 크게 축산물과 수산물 두 가지로 구분되며, 축산물의 경우에는 주로 닭, 돼지, 소 근육세포를 주로 이용하여 배양하며, 수산물의 경우에는 새우나 참치, 연어와 같은 소비자들이 주로 섭취하는 것들을 배양하고 있다. 배양육은 세포주나, 배양액, 온도 및 습도, 제조 방법에 따라서 다르게 생산되며, 연구자 및 생산자의 의도에 따라서 선택될 수 있는 조건이다. 현재는 값싸고 더 많은 양을 생산하기 위한 연구들이 지속적으로 수행되고 있다. 특히, 배양육은 도축을 수반하지 않기 때문에 일부 종교권에서는 여전히 논란이 있으나, 할랄이나 코셔 기준을 충족하는 세포주나 배지를 사용할 경우 조건부 수용 가능성이 논의되고 있는 상황이다(Bryant, 2020).

2.2. 세포 배양육의 제조

2.2.1. 세포주

세포주는 대량 생산, 품질 균일성, 분화 효율, 식품 안전성, 기술적 확장성 등 배양육의 상업화와 고품질 제품 생산을 위해 필수적인 기반을 제공한다. 세포주는 다양한 동물 종에서 유래할 수 있으며, 각종의 세포주는 해당 동물의 고유한 조직 특성과 맛, 영양성분을 재현할 수 있어 배양육 제품의 다양성과 맞춤형 개발에 중요한 역할을 한다.

쥐의 경우, 쥐의 myoblasts를 사용하여 일반적으로 우리가 섭취하지는 않지만, 배양육 원리 및 연구를 빠르게 진행하기 위해 사용되는 대표적인 세포주의 하나로, 이후에 이의 원리로 적용하여 소비자들이 원하는 식육의 종류인 소, 돼지, 닭의 세포주로의 개발이 필요하다(Ritchie과 Roser, 2017). 식품 신공포증이 배양육에서 발생될 수 있으며, 이를 소비자들에게 확인한 결과 익숙하지 않은 종 및 세포 유형으로 만들어지면 수용도가 낮아질 수 있음을 확인할 수 있었다(Bryant과 Barnett, 2020).

소는 세계에서 최초로 개발된 배양육이기도 하며, 현재까지도 많은 연구자가 연구를 진행하고 있는 세포주로, 각각 나라에 따라서 가지고 있는 유래 종에 대해서 진행되는 경우가 많다. 최초로 진행된 이유도 Mark Post에 따르면 "단백질과 지방이 어우러져 있고, 가장 어려운 세포의 배양에 성공한다면 닭과 돼지와 같은 축종은 쉽게 적용할 수 있을 것"이라고 발표할 만큼 그 공정이 다른 가축에 비해 어렵다고 알려져 있다. 이는 다른 축종에 비해 지방에 많고, 환경적인 조건이 다르기 때문이며, 아직까지 시중에 개발되어 선보여진 제품은 없다고 알려졌다.

닭의 경우, 지근(예를 들어, 다리살)과 속근(예를 들어, 가슴살)으로 분류되며, 속근에서 분리된 위성세포는 속근으로만 분화되는 반면, 지근의 경우 속근과 지근으로 모두 분화될 수 있다고 알려져 있다(Hong 등, 2021). 따라서 현재 레스토랑 및 시식회 등에서 가장 많이 선보여진 제품으로 단백질로 구성되어 있어 다른 가축에 비해 대량 배양이 비교적 용이한 것으로 알려져 있다.

돼지는 배양육을 연구하기 위해 가장 일반적으로 쓰였던 쥐 세포와 유사하기 때문에 배양 기법을 적용하기

가 쉬우며, 다른 가축들에 비해 증식 및 분화가 빠르게 일어나고, 연구 방법에 따라서 cell의 증식 및 분화 속도나 정도가 다르게 일어나 많은 연구가 진행되고 있다(Choi 등, 2020).

연어는 해양 수산물에서 가장 각광받고 있으며, 연어의 근육 유래 세포는 저온에서 안정적으로 증식이 가능하다고 알려져 있다. 투명한 근섬유 형성과 높은 EPA/DHA 함량을 모사할 수 있어서 기능성 식품화가 높은 어종으로 평가되고 있으며, 일부는 불멸화 세포주까지 획득되어 있다(Oestbye과 Ytteborg, 2018).

새우는 해산물 중에서 글로벌 소비량이 높은 품목이기 때문에 배양육 기술과의 적합도가 높은 편이며, 세포는 주로 근육세포와 혈림프세포를 생산하는 연구들이 진행 중이다. 또한 장기 배양 및 불멸화에 대한 기술적인 연구가 지속되고 있다(Sivakumar 등, 2019).

2.2.2. 배양액

일반적으로 세포 배양에 필요한 배양액은 아미노산, 비타민, 무기염, 성장 인자 호르몬, 미생물 억제제 등 많은 물질을 함유하고 있다. 이들이 각각 무슨 역할로 세포를 증식시키는지에 대한 연구가 필요하며, 현재 사용되고 있는 배양액을 대체하려는 시도가 필요할 것으로 보인다(O'Neill 등, 2021). 대부분의 배양액에 사용되는 영양제는 단백질 기반의 구조를 가지고 있다. 이에 따라서 세포 배양 환경에서 이용되는 활성 반감기가 짧다고 보고되었으며, 상업적으로 이용되는 배양액을 개발하기 위해서는 이를 해결할 수 있는 장기간 사용 가능한 영양소 공급원을 개발하는 것이 중요하다(Park 등, 2021). 현재 세포 배양육을 개발한 기업들은 대부분 무혈청배지를 이용하여 제품을 생산하고 있으며, 주로 기업에서 자체 개발한 배지를 사용하기 때문에 성분에 대해서는 극히 일부만이 알려져 있으며, 연구에서는 무혈청배지를 생산하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다(Lee 등, 2023).

2.2.3. 생장 환경

세포 배양육에서 생장 환경은 세포의 증식과 분화 효율, 제품의 품질 및 안전성, 생산 비용 등에 직접적으로 영향을 미치므로, 상업화와 고품질 배양육 생산을 위해 정밀하게 제어되어야 한다. 포유류 생산 온도는 주로 37℃에서 이루어지며, 어류 세포 배양은 15-30℃ 사이 온도에서 유지되므로 세포 배양의 손실을 방지하기 위해서는 이것이 ±0.5℃가 되지 않게 유지하는 것이 중요하다(Rubio 등, 2019).

기체 조성의 경우, 주로 세포 배양은 95%의 산소와 5%의 이산화탄소에서 유지하며 배양된다. 산소는 세포가 호흡하기 위해서 존재하며, 이산화탄소는 배양육 생물 공정에서 세포 밀도와 밀접하게 연관되어, 세포막을 통해 쉽게 확산하기 때문에 세포 대사에 영향을 미치고 세포 내 pH가 유지되도록 도와주는 역할을 한다(Verma 등, 2020). 따라서 현재는 이산화탄소의 센서를 부착하여 농도가 유지되게 하는 등의 연구들이 지속되고 있다(Djisalov 등, 2021).

이 밖에도 세포 배양에는 세포의 부착성에 대한 연구들이나, 세포의 성장을 방해하는 미생물에 대한 연구도 진행되고 있다. 세포는 부착성이 강하기 때문에 이를 해결하기 위해서 교반기를 이용하여 부유 배양을 진행한다거나, 아예 부착성을 이용하여 마이크로 캐리어나, 몰드에 부착하여 이를 생산하는 경우도 있다. 또한 곰팡이의 성장에 따라 세포가 성장하지 못하는 것을 방지하기 위해서 Penicillin-Streptomycin-Amphotericin (PSA)와 같은 항생제를 사용하기도 하는데, 차후 이를 제거하거나, 이것이 잔류되어 있는지를 연구하는 등의 추가적인 연구들이 더 필요할 것으로 보인다.

2.2.4. 지지체

지지체(Scaffold)는 세포 배양육에서 세포가 부착・증식・분화할 수 있도록 3차원 구조적 기반을 제공하며, 세포들이 조직화되어 실제 고기와 유사한 형태와 식감을 구현하는 데 필수적인 역할을 한다. 지지체의

재료는 식품 안전성과 생분해성, 영양성, 기계적 특성 등을 고려해 다당류(알긴산염, 셀룰로오스), 단백질(식물성 단백질, 젤라틴), 복합체(쌀알 등) 등이 활용되며, 최종 제품의 조직감과 맛, 영양, 조리 특성에까지 영향을 미친다.

Hydrogel은 하나 이상의 생체 재료(콜라겐이나 알긴산 등)를 혼합하여 제조되며, 세포와 분자의 투과성을 위해 친수성 폴리머로 제작되는 지지체를 말한다. 이 지지체는 천연 세포외기질과 가장 유사하게 제작되기 때문에 세포의 영양분 흡수와 노폐물 배출이 다른 지지체에 비하여 우수한 장점을 가지고 있다(Ruedinger 등, 2015).

Fiber scaffold는 가늘고 긴 섬유들을 대량으로 생산하여 이를 매트리스로 형성하여 세포가 부착 및 증식할 수 있는 형태로 제작되는 지지체를 말하며, 주로 이를 전기 방사 및 전기 스프레이와 같은 기계를 이용하여 제작되기 때문에 섬유를 정렬하는데 다른 지지체에 비하여 우수한 장점을 가지고 있다(Seo 등, 2023).

Micro-carrier bead는 양전하 코팅이 된 bead의 표면과 음전하를 띄는 세포를 정전기적 상호 작용을 통해 세포가 bead에 부착되도록 한다. 다른 지지체에 비하여 세포들이 대량 생산되기 쉬워 많이 사용되고 있으며, 무혈청 조건에서도 세포들이 성장할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Pajčin 등, 2022).

Mold는 Micro-carrier bead와 유사하지만, freeze drying, decellularization 등의 다른 방법을 통해 쉽게 제작할 수 있는 지지체를 말한다. 위와 마찬가지로 세포를 대량으로 생산할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Bomkamp 등, 2022).

2.3. 세포 배양육의 한계점

앞서 설명한 세포 배양육은 다양한 생산 공정이 개발되었으며, 현재도 지속적으로 새로운 방법이 연구·보완되고 있다. 이는 세포 배양육의 생산이나 가격 한계가 원인으로, 세포 배양육에 필요한 재료(fetal bovine serum; FBS), 배양액 및 제작 기계의 고가에 따른 비용 문제가 가장 큰 문제이다. FBS는 세포를 증식 및 분화시키는데 가장 중요한 역할을 하지만, 높은 가격대로 인해 배양육의 가격을 올리는데 가장 큰 원인으로 손꼽히며, 기본적으로 소태아에서 채취한 혈액의 혈청이기 때문에 FBS의 사용은 결과적으로 동물 윤리적 문제에서 벗어나기 힘들다(Nikkhah 등, 2023). 배양육 생산을 위해서는 장기 배양과 증식이 필요하지만, primary cell은 시간이 지날수록 세포 증식력이 떨어진다는 단점이 있다. 이에 따라 불멸화 세포가 필요한 실정이나, 이는 유전적 조작이 필요하고 이에 따라 GMO 논란을 야기할 수 있다는 단점을 가지고 있다(Ong 등, 2021). 지금까지의 의료분야(주로 조직학)에서 세포 배양은 많은 양을 요하지 않고, lab scale에서 진행될 수 있었지만, 배양육 시장은 많은 투자와 대규모 사업화가 필요하기 때문에 지자체-기업-대학이 함께 하는 사업으로 시장을 공유하는 것이 필수적이다(Bhat 등, 2019). 또한 소비자 인식 측면에서 '인공육'이라는 인식은 심리적인 거부감이 존재할 것으로 보이며, 종교적 기준의 거부감 또한 높을 것으로 보이기 때문에, 이를 해결하기 위하여 인식 개선을 위한 조치가 필요할 것으로 보인다(Pakseresht 등, 2022).

2.4. 세포 배양육 관련 법률과 정책 동향

2.4.1. 국내 법률과 정책 동향

배양육 판매를 위해서는 배양육이 식품으로 인정되는지, 식품 표시를 어떻게 해야 하는지가 중요한 쟁점이다. 식품위생법 제7조 제1항은 판매를 목적으로 하는 식품 또는 식품첨가물에 대해서는 식품의약품안전처장이 기준과 규격을 정하도록 하고 있고, 같은 조 제4항은 기준과 규격에 맞지 않는 식품 등의 판매를 허용하지 않고 있다. 배양육은 가축의 지육, 정육, 내장 그 밖의 부분 그 자체는 아니며, 그 밖의 부분에 해당할 여지가 있는 세포를 증식시킨 것이므로 식육으로 보기 어렵고, 수산 동물 또한 수산 동물 그 자체를 양식한 것도 아니

기 때문에 수산물로도 보기 어렵다. 따라서 배양육은 식육 또는 수산물의 기준과 규격을 적용할 수 없으며, 별도의 기준과 규격도 현재는 마련되어 있지 않고, 현재 우리나라 정부는 세포 배양육 관련 산업의 육성을 위한 법과 제도의 개선에 속도를 내고 있다(표 1).

농림축산식품부, 식품의약품안전처, 식·약·의약품 안전평가원을 중심으로 법과 제도 개선에 노력이 이루어졌으며, 세포 배양육은 국내에서 새로운 식품 원료를 사용하기 위해서는 한시적 기준·규격을 인정받아야 했지만, 그 대상이 농·축·수산물과 식품첨가물 등으로 한정되어 있어 신소재가 식품 원료로 인정받는데 제약이 있었다. 이후 식약처는 '식품 분야 규제혁신 국민 대토론회'에서 배양육 산업 육성을 위한 규제혁신 방안으로 세포 배양 신기술을 적용한 신소재를 식품 원료로 인정받을 수 있도록 한시적으로 기준·규격 인정 대상을 확대할 것이라 밝혔으며, 배양육이 현행법상 판매 가능한 식품으로 인정되기 어려운 만큼, 식약처는 2022년 '식·의약 규제혁신 100대 과제'의 일환으로 세포 배양 식품 등 신기술을 적용해 만든 원료도 식품 원료로 인정하기 위한 제도화에 착수하였다.

식품위생법 시행규칙 일부 개정령안을 입법 예고하여 시행규칙 제5조 제1항 제1호에서 다목으로 '세포 배양

표 1. 국내 세포 배양육 관련 주요 정책(출처: 농림축산식품부, 식품의약품안전처 홈페이지 및 기사 중 발췌)

날짜	주요 내용
2019. 12	- 농림축산식품부에서 5대 유망식품 집중 육성을 통한 '식품산업 활력 제고 대책'으로 대체식품산업 지원
2020. 1	- 식품의약품안전처는 '제2차 식품 등의 기준 및 규격 관리 기본계획(2020년~2024년)' 수립 - 세포배양육 등 육류 대체식량으로서 새로운 식품 등이 등장함에 따라 대체단백식품에 대한 건전성 검토 및 안전성 평가기반 마련 계획
2022. 7	- 식품의약품안전처 주관 '식품분야 규제혁신 대국민 토론회'에서 배양육 산업 육성을 위한 규제 혁신 방안 발표 - '세포 배양 등 신기술을 적용한 신소재도 식품원료로 인정받을 수 있도록 한시적으로 기준·규격 인정대상을 확대하겠다'.
2022. 8	- 식품의약품안전처는 지난해 '식·의약 규제혁신 100대 과제'의 일환으로 세포배양식품 등 신기술을 적용해 만든 원료도 식품원료로 인정하기 위한 제도화에 착수
2022. 10	- 식품위생법 시행규칙 일부 개정령안을 입법예고하여 시행규칙 제5조 제1항 제1호에서 다목으로 '세포배양 등 새로운 기술을 이용하여 얻은 것으로서 식품으로 사용하려는 원료'를 신설하는 개정을 검토
2023. 5	- 정부는 세포 미생물 배양 기술 이용 식품원료를 한시적 기준·규격 인정 대상에 추가하는 등의 내용을 담은 '식품위생법 시행규칙 일부 개정령'을 공포
2023. 6	- 식품의약품안전처 식약의약품안전평가원과 중앙대학교가 공동으로 주최한 세포배양식품원료 국제 심포지엄에서 '국내 세포배양식품원료 인정기준 추진현황'을 주제로 발표 - 세포미생물 배양 기술을 통해 개발한 배양육이 식품 원료로 한시적 기준·규격 인정대상에 포함 - 식품의약품안전처는 연내 세포주나 배양액 등에 대한 고시, 가이드라인을 만들어 배포한다는 방침
2023. 10~12	- 식품의약품안전처에서 '식품 등의 한시적 기준 및 규격 인정기준 일부 개정고시(안) 행정예고' 공고
2024. 2	- 식품의약품안전처에서 '식품 등의 한시적 기준 및 규격 인정기준 일부 개정고시' 공고
~2027. 12	- 식품위생법 시행규칙에 등재된 식품첨가물만 식품 제조에 사용 가능한 문제를 해결하기 위해 「식품첨가물의 기준 및 규격」을 개정하여 세포배양식품 등 신식품 개발을 촉진하고 배양액 등 신소재 개발 여건을 마련 계획 - ADI 설정이 필요 없는(Not Specified) 식품첨가물 확대(2022~2023) * (대상) 식품첨가물 중 5′-이노신산 등 17품목(2022년 7품목, 2023년 10품목) - ADI가 설정되어 있고 국내 기준과 다른 식품첨가물은 사용빈도, 국내 섭취량 평가 등 안전성 검토 후 개선(2024~2027) * (대상) 보존료(2024), 식용색소(2025), 감미료(2026), 산화방지제(2027)

등 새로운 기술을 이용하여 얻은 것으로서 식품으로 사용하려는 원료'를 신설하는 개정을 검토하고, 「식약처 규제혁신 추진현황」에 따라 시행규칙이 개정되면, 기업들은 개별적으로 자사 배양육에 대한 기원 및 개발 경위, 국내・외 인정, 사용현황, 제조 방법, 원료의 특성, 안정성에 관한 자료 등을 제출하며, 「식품 등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준」 제3조에 따라 식약처장에게 한시적 기준 및 규격 인정을 신청할 수 있게 되었다. 정부는 세포・미생물 배양 기술 이용 식품 원료를 한시적 기준・규격 인정 대상에 추가하는 등의 내용을 담은 '식품위생법 시행규칙 일부 개정령'을 공포하였으며, 세포 미생물 배양 기술 이용 식품 원료, 한시적 기준・규격 인정 대상에 추가하였으며 절차는 다음과 같다.

1) 규제심사: 국무조정실 규제심사 비대상 확인 (2023.9.6.)
2) 행정예고: 공고 제2023-76호, 2023.10.26. (2023.10.26.~2023.12.26.)
3) WTO 공지: 2023.10.30.~2023.12.29.
4) 식품위생심의위원회 신소재식품 분과 심의 (2024.2.6.): 원안의결

식약처 '식품위생법 시행규칙 일부 개정령' 개정에는 세포미생물 배양 기술을 통해 개발한 배양육이 식품 원료로 한시적 기준・규격 인정대상에 포함된다고 설명되어 있으며, 그동안 명확한 기준이 없어 업계에서도 개발에 애로를 겪던 배양육이 식품 원료로서 인정받게 되었다. 식약처는 세포주나 배양액 등에 대한 추가 고시, 가이드 라인을 만들 방침으로, 국제 심포지엄에서 식약처는 '국내 세포 배양 식품 원료 인정기준 추진현황'을 주제로 발표하면서 인구 증가, 환경문제, 개인의 신념에 따른 식습관 등으로 인한 식량난에 대비해 세포 기반 식품을 비롯한 다양한 신식품에 대한 연구와 관심이 높아지고 있다. 이에 정부의 "선제적 틀 구축과 안전관리가 시급하다"며 "국내에서 식품용으로 허가된 식품 원료는 5,156개로 등재되어 있으며, 목록에 없는 식품 원료는 안전상의 이유로 식품으로 사용할 수 없으며, 국내 소비 이력이 없는 신소재 식품은 식품의 한시적 기준・규격(표 2)에 따라 심사를 받아야 한다"고 설명했다.

2.4.2. 유럽 연합(EU) 법률과 정책 동향

세포 배양 유래 식품을 유럽에서 판매하기 위해서는 법률(2015/2283)의 조건들을 충족하여 식품으로써 인정을 받아야 하며, EU 규제 당국이 세포 배양 육류 제품을 승인하면 해당 제품은 EU 27개 국가 전체에서 판매할 수 있다. 승인 절차에는 세포 배양육의 안전성과 영양적 가치에 대해 검증 및 평가가 포함되며, 최소 18개월 이상이 소요될 것으로 예상된다.

표 3에 제시된 바와 같이 법률처럼 새로운 식품의 안전성 평가를 위해서는 유럽 식품 안전 기관(European Food Safety Authority; EFSA)에서 검증 및 분석을 거쳐야 가능하다. 2023년 5월 EFSA은 "Cell culture-derived foods and food ingredients"라는 주제로

표 2. 식품 등의 한시적 기준 및 규격 인정 기준(출처: 식약처)

식품의약품안전처 공고 제2023-507호
「식품 등의 한시적 기준 및 규격 인정기준」(식품의약품안전처 고시 제2023-43호, 2023.6.14.)을 일부 개정함에 있어 국민에게 미리 알려 의견을 듣고자 그 취지, 개정 이유 및 주요 내용을 「행정절차법」 제46조에 따라 다음과 같이 공고합니다.
「식품 등의 한시적 기준 및 규격 인정기준」 일부 개정고시(안) 행정예고
1. 개정 이유
세포·미생물 배양 등 새로운 기술을 이용한 식품 원료가 개발됨에 따라 식품 원료의 한시적 기준 및 규격 인정대상 범위를 확대·개선하고 식품 원료의 제출자료 범위 및 작성요령을 명확히 제시하는 한편, 식품 원료 등의 심사에 소요되는 현실적인 기간을 반영하여 민원 처리 기간을 조정함으로써 합리적으로 기준 및 규격을 관리하고 행정 효율성을 제고하려는 것임.

표 3. EU 목록에 새로운 식품을 포함하기 위한 일반 조건(출처: 유럽식품안전기관(EFSA))

Regulation (EU) 2015/2283
Chapter II (Requirements for Placing Novel Foods on the Market within the Union)
Aritcle 7 [General conditions for inclusion of novel foods in the Union list]
(a) 과학적 증거를 기반으로 새로운 식품이 인간 건강에 위험하지 않고 안전해야 한다.
(b) 식품의 의도된 용도가 소비자를 혼동시키지 않아야 한다. 특히 새로운 식품이 다른 식품을 대체하는 목적이고 영양성분이 크게 변동되는 경우, 이는 더욱 소비자를 혼동시키지 않아야 한다.
(c) 새로운 식품이 다른 식품을 대체할 때, 새로운 식품은 대체할 식품과 영양적으로 다르지 않아 소비자한테 영양적으로 불리하지 않아야 한다.

27th Scientific Colloquium를 주최한 바 있다. Colloquium의 overall rapporteur이며, novel food 분야 수석 책임자인 볼프강 겔브만에 의하면 EFSA는 현재까지 세포 배양 유래 식품에 대해서 검증 및 평가 요청을 받은 적이 없지만, 세포 배양 유래 식품에 대해서 Novel food로써 적용을 평가하기 위해 과학적으로 평가할 준비가 되었음을 발표한 바 있다. 하지만 EFSA는 독립적인 과학 자문 기관으로써 EU의 의사 결정에 발언권이 없기 때문에 시판 승인 자체는 EU의 규제 당국과 회원국이 소비자 안전, 경제성, 동물 복지, 사회적 측면을 고려하여 결정할 것으로 보인다. 2023년 12월, 이탈리아는 배양육 생산 및 판매를 금지하는 법률을 시행하였으며, 이는 예방 원칙에 기반하여 국민 건강과 전통 식문화를 보호하기 위한 조치로 설명하였다. 하지만 이는 EU의 기술 규제 정보 시스템(TRIS)을 위반하여 법적 효력에 의문이 있으며, 무효로 선언될 가능성 존재한다.

2.4.3. 미국 법률과 정책 동향

미국식품의약국(Food and Drug Administration; FDA)와 미국 농무부(United States Department of Agriculture; USDA)는 2019년에 공식 협약을 체결(Formal Agreement to Regulate Human Food Made from Cultured Animal Cells)하여 공동으로 가축 및 가금류의 세포 배양으로 만든 식품을 규제하고 있으며, 세포 수집, 세포주 및 분화 과정과 관련된 규정 또는 지침 관리 등에 대해서 감독을 수행하고 있다(표 4).

식품용 세포를 수확하는 기관은 Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP)을 인증받아야 하며, FSIS 규정 중 미국의 육류 검사와 규제를 다루는 법률인 Federal Meat Inspection Act (FMIA; 21 U.S.C. §§601 et seq.)와 가금류 제품 검사 법률인 Poultry Products Inspection Act, as amended (PPIA; 21 U.S.C. §§451 et seq.)에 따라 제품이 완전하고, 건강하며 적절한 라벨이 붙었는지 확인해야 한다. 2023년 6월 FDA와 USDA는 세포배양육 회사 GOOD Meat와 UPSIDE Foods의 배양육 시판을 승인하였다. 이처럼 많은 법률과 규제를 지키고 승인된 GOOD Meat와 UPSIDE Foods의 세포 배양 닭고기 제품에 “Cell-cultivated chicken“이라는 labeling이

표 4. FDA-USDA 공동 규제 협약(출처: 미국식품의약국(FDA), 미국 농무부(USDA))

Formal Agreement Between FDA and USDA Regarding Oversight of Human Food Produced Using Animal Cell Technology Derived from Cell Lines of USDA-amenable Species
1. Purpose
본 합의서의 목적은 USDA 적용 대상 종의 세포주로부터 유래하며 USDA 검사 마크 부착이 요구되는 동물 세포 배양 기술로 생산된 인체용 식품의 감독과 관련하여, 미국 보건복지부 식품의약품안전청(HHS-FDA)과 미국 농무부 식품안전검사국(USDA-FSIS)(이하 각각 “당사자”, 통칭하여 “양 당사자”)이 수행할 예정인 역할을 규정하는 데 있다.
이하 생략

진행되었다. 하지만 미국의 경우 여러 주법이 따로 존재하고, 일부 주법의 경우 세포 배양육에 고기라는 단어를 쓰는 것을 금지하고 있기 때문에 미국의 경우, 의회가 연방차원에서 세포 배양육의 labeling에 대해서 어떻게 상호작용할 것인지 확인해야 할 것으로 보인다.

2.4.4. 이스라엘 법률과 정책 동향

"Novel food"의 정의를 충족하는 모든 식품은 이스라엘에서 판매되기 전에 "National food services"의 인증을 받아야 한다. "National food services"는 영양성분, 섭취량, 독성 및 알레르기, 생산공정 등을 검증하여 식품의 안전성을 판단하고 식품 판매를 승인하며, 배양육은 이스라엘에서 2006년 이전에 안전하게 섭취된 사례가 없었기 때문에 "Novel food"로 분리된다. 2023년 12월 이스라엘의 세포 배양육 회사 "Aleph farms"는 소고기 배양육 제품에 안전 인증 마크를 인증받았으며, 세계 최초로 소고기 배양육의 판매 승인받았다. 이스라엘의 국민 70% 이상은 유대교인이며, 유대교인들은 유대교 율법에 따라 Kosher foods만 먹을 수 있다. Kosher foods는 종교적 음식법인 kashrut를 따른 식품을 뜻하며, 이스라엘의 Chief Rabbi인 David Baruch Lau는 "Aleph farms"의 배양육 스테이크가 Kosher food라고 규정하였다(표 5).

2.5. 국내 세포배양육 기업 및 기술 현황

2.5.1. 다나그린

2017년에 설립된 국내 스타트업 배양육 연구개발 기업 다나그린은 단백질을 가공하여 세포를 3차원으로 배양하는 데 필요한 지지체를 만드는 연구를 진행하고 있다. 최근 다나그린은 80억 원 규모의 Series A 투자 유치에 성공하며, 지지체 생산 설비 및 배양육용 배양기를 확보함으로써 향후 대량 생산에 대비한 최종 단계의 스케일업에 적용할 수 있도록 전체 공정을 자동화하는 생산 시스템을 구축할 예정이라고 밝혔다. 이 기업은 3차원 세포배양 지지체 구조물에 줄기세포를 배양하고 분화시켜 미니장기(mini-organ)를 만드는 하이브리드 방식의 원천기술을 보유하고 있으며, 이를 배양육에 활용할 경우 저비용 대량 생산 방식을 채택할 계획이다. 다나그린의 배양육은 소, 닭, 돼지 등에서 추출한 근육세포와 그 주변 세포들을 식물성 단백질 기반의 3차원 지지체에 삽입해 근육조직으로 배양하는 점이 특징이며, 다양한 저비용 생산 기술 개발과 FBS 등의 재활용 기술, 스케일업을 통한 대량 배양 기술 개발에 중점을 둘 것이라는 계획을 발표한 바 있다. 향후 2026년 배양육의 국내 판매를 목표로 하고 있다(그림 2).

2.5.2. 씨위드

2019년 대구경북과학기술원 출신 학생들이 창업한 스타트업 씨위드는 기존 축산업이 지닌 문제점을 해조류 기반의 배양육으로 해결하겠다는 목표로 설립되었다. 씨위드는 해조류를 활용해 환경 파괴의 영향을 줄이면서도 고기를 섭취할 수 있도록 하는 데 초점을 맞추고 있으며, 해조류로 만든 배양육이 패티, 큐브 스테이크 등 다양한 형태로 가공 가능하다는 점에서 배양육 산업의 발전에 큰 영향력을 가진 기업으로 평가받고 있다. 대구·경북 지역에서의 창업 활동을 고수하며 지역 생태계 조성에도 기여하고 있으며, 2021년에는 세포 농업 분야의 전 세계 협의체에 참여해 해외 우수 배

표 5. 이스라엘 공중보건보호법에 정의된 novel food(출처: 이스라엘 보건부)

Public Health Protection Law (Food) – Novel Food
• *2006년 2월 이전까지 이스라엘에서 인체 안전성이 충분히 평가되지 않은 새로운 1차 분자구조(예: 신종 당류) 또는 의도적으로 변형된 1차 분자구조를 지닌 식품*
• *유전적으로 변형된 생물 또는 그 일부를 포함한 식품*
• *식물·동물·미생물·곰팡이·조류·효소 등에서 유래했지만, 이스라엘에서의 인체 섭취 안전 정보가 부족한 성분을 함유한 식품*
• *세적소독을 제외하고 이스라엘에서 사용된 적 없는 제조 공정으로 만들어져 영양가, 대사 특성 또는 유해물질 수준이 변형된 식품*

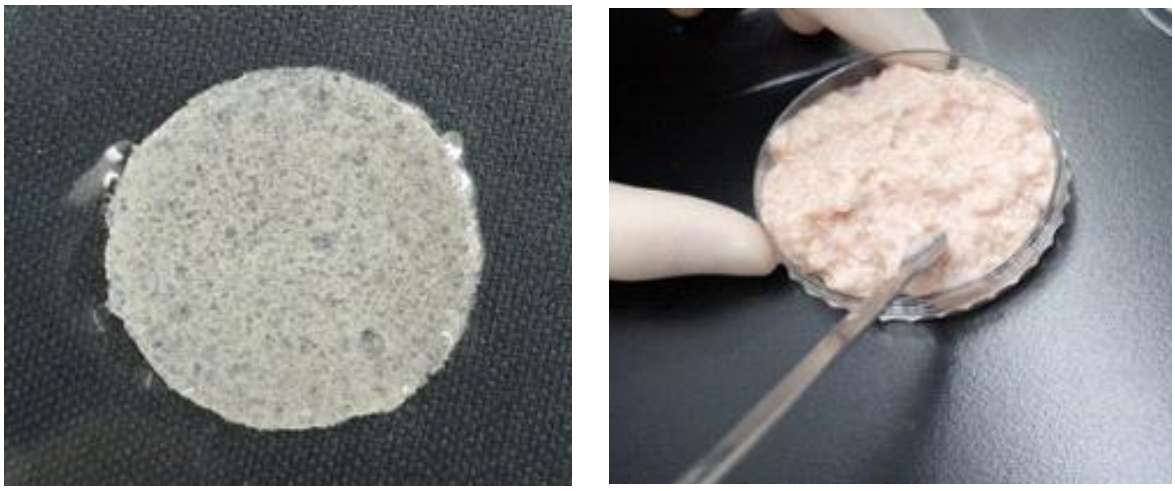


그림 2. (좌) 다나그린의 배양육용 지지체, (우) 배양된 근육조직(출처: 다나그린).

양육 기업들과 교류한 바 있다. 또한, Series A 사업을 통해 약 65억 원 규모의 투자를 유치하며 주목을 받았다. 현재 씨위드는 파일럿 공정을 운영 중이며, 내년까지 국내 식약처(MFDS) 승인을 목표로 대량 생산을 위한 스케일업 작업을 진행하고 있다. 이 기업은 온실가스를 흡수하는 해조류를 기반으로 배양액과 구조체 등을 개발하는 독창적인 기술을 보유하고 있으며, 이를 통해 배양육 생산 원가를 절감하고 상용화를 앞당겨 지속가능한 미래를 실현하는 데 기여할 것이라는 계획을 발표한 바 있다. 씨위드의 배양육은 현재 개발이 거의 완료된 단계로, 제품 출시는 2025년 말이나 2026년 초로 예상되며, 제품 판매를 위해 2026년까지 연간 1,000톤의 배양육을 생산할 수 있는 공장 설립을 완료할 계획이라고 밝혔다(그림 3).

2.5.3. 셀미트

2019년에 설립된 이 스타트업은 2022년 810만 달러 규모의 투자 유치에 성공하며 배양 수산물 분야에서 주목을 받고 있다. 이들은 국내 최초로 독도새우 세포를 활용한 배양에 성공했으며, 무혈청 배양액 개발 또



그림 3. (좌) 씨위드의 배양육으로 제조한 햄버거, (우) 시식발표회에서 선보인 배양육(출처: 씨위드).

한 국내 최초로 이뤄내며 국내 배양육 지원사 중 가장 높은 순위에 선정된 바 있다. 특히 상품의 경제성을 확보하기 위해 필수적인 대량 세포 배양 기술을 보유하고 있으며, 이를 기반으로 배양세포 식품의 대량 생산 및 상용화를 준비 중이다. 경기 구리시에 있는 이 기업의 공장은 연간 200톤(t) 생산이 가능한 세계 최대 규모의 설비를 갖추고 있으며, 본격적인 양산 체계에 돌입할 계획이다. 이들은 독도새우에서 세포를 채취한 후 특수한 환경에서 배양해 증식시키고, 실제와 유사한 맛, 향, 식감을 구현하기 위해 지지체와 조합하는 과정을 거친다. 2024년에는 식품 기술 전문 데이터 분석 기업 포워드 푸딩이 매년 선정하는 '푸드테크500'에서 61위에 오르며 기술력을 인정받았고, 2025년 2월에는 아이슬란드에서 세포 배양 식품 시식회를 개최한 바 있다. 현재는 캐비아, 큐브 새우, 어묵 등 다양한 제품 라인업을 구축하고 있으며, 대량 생산 및 판매를 위한 준비를 마친 상태다(그림 4).

2.5.4. 티센바이오팜

2021년에 포스텍 조직공학연구실에서 바이오 인공장기를 개발해 온 연구자 출신이 설립한 이 회사는 동물복지, 클린푸드, 환경영향 등 지속가능한 가치 실현을 목표로 하고 있다. 세계적 수준의 인공장기 개발 기술을 바탕으로 배양육을 개발하는 것이 이들의 핵심 특징이며, 미세섬유 형태로 근육과 지방을 압출하는 바이오패브리케이션 시스템을 활용해 배양육을 원하는 크기와 모양으로 대량 생산할 수 있는 기술적 차별성을 갖추고 있다. 이 기업은 2024년 중소벤처기업부가 주관하는 글로벌 유니콘 프로젝트에 선정되었으며, 동물세포 배양육 부문 'R&D 혁신대상'을 수상하며 그 사업 모델과 기술적 성장 가능성을 공식적으로 인정받았다. 특히 세계 최초로 마블링이 있는 '덩어리 배양육'을 구현하는 기술을 개발함으로써, 배양된 세포로는 두꺼운 고기를 만들기 어렵다는 기존의 한계를 극복한 바 있다(그림 5).

2.5.5. 스페이스에프

세포 농업 기술을 활용하여 환경적·윤리적으로 문제가 없는 배양육 개발에 집중하는 이 전문기업은 동물 줄기세포의 추출 및 배양을 위해 다양한 축종별 줄기세포 추출법을 연구하고 있으며, 이를 통해 무혈청 배양액을 개발하고 세계 최초로 돼지 배아줄기세포주를 확립한 바 있다. 이 기업은 줄기세포 은행 구축, 세포 특성 분석, 체외 배양 기법의 최적화 및 효율적인 배양법



그림 4. (좌) 셀미트의 독도새우 배양육, (우) 무혈청 세포배양액(출처: 셀미트).



그림 5. 티센바이오팜이 생산한 배양육 공개 사진(출처: 중앙일보/티센바이오팜).

개발을 통해 대량 생산 기반을 마련했으며, 3차원 근육 분화 및 성숙 기법 개발과 배양 제품의 자동화 생산 설비를 구축하여 조직공학 기반의 근육조직 구현에 성공하였다. 또한 조직공학과 식품가공 기술을 접목해 실제 육류와 유사한 식감과 맛을 구현했으며, 이화학적 및 분자생물학적 분석을 통해 아미노산과 지방산 등의 성분이 실제 고기와 동등하게 포함되어 있음을 과학적으로 입증하였다. 이 기업은 식품의약품안전처가 주관한 배양육 안전관리 가이드 라인의 최초 작성에도 참여했으며, 2022년부터 향후 5년간 총 200억 원의 연구비를 지원받아 다양한 기업들과 협력하여 배양육 생산기술 개발과 산업화를 위한 연구를 지속하고 있다(그림 6).

2.5.6. 심플플래닛

이 기업은 소, 돼지, 닭 등 13종의 동물에서 줄기세포와 일차세포를 분리하여 부유배양에 특화된 세포주를 확보하고 있으며, 대량 생산에 특화된 동물 세포주 구축 플랫폼을 보유하고 있다. 이를 통해 세포 순도와 안정성을 향상시키는 최첨단 세포 분리 기술을 보유하고 있다. 또한 세포 기반 식품 생성을 위한 무제한 세포



그림 6. (좌) 스페이스에프 배양육 소시지 (우) 배양육 햄버거 패티(출처: 스페이스에프).

공급원인 유도만능줄기세포 생성에 중점을 두고 있으며, 소와 돼지 유도만능줄기세포를 생성하는 프로그래밍 방법을 성공적으로 확립한 바 있다. 유도만능줄기세포를 활용해 3D 조직화 기술을 개발하여 실제 고기와 유사한 조직 구조를 구현하고 있으며, 다층 nano-thin films와 젤라틴 마이크로입자 기술을 통해 영양분 방출 및 전달을 제어하여 세포 증식을 촉진하고 배양 배지 비용을 절감하는 방법을 연구하고 있다. 또한, 재조합 성장 인자 및 기타 필수 시약을 개발하며, 배양육 생산 비용의 80% 이상을 차지하는 소태아 혈청 대체를 위한 '유산균 기반 무혈청 식용 배양액'을 개발하고 있다(그림 7).

2.5.7. 롯데중앙연구소

1983년에 설립된 이 종합 식품 연구소는 배양육 사업화에 본격적으로 진출할 계획을 가지고 있으며, 배양육 분야의 전문기업들과 협업을 통해 기술 개발을 추진하고 있다. 2023년에는 세포 배양육 기술기업 팡세와 식품첨가물 제조기업 네오크레마와 함께 '세포 배양 식품에 적합한 식용 배지 기술 사업화 및 제품화를 위한 업무협약'을 체결하여 배양육 기술을 결합하여 배양육을 개발하고 있다. 팡세는 3D 바이오프린팅 기술을 활용해 세포 배양육에 실제 고기의 식감과 풍미를 구현할 수 있는 기술을 보유하고 있으며, 네오크레마는 기능성 식품소재 전문기업으로 식용이 가능한 저렴한 배지를 개발하는 연구를 진행하고 있다. 팡세의 제조 기술력과 네오크레마의 식용 원료 솔루션을 바탕으로 식용 배지를 개발하고 있는 이 연구소는 배양육 상용화에 중요한 기술적 진전을 이뤄가고 있다(그림 8).

2.5.8. 셀쿠아

2021년에 주식회사로 설립된 셀쿠아는 해양 생태계가 쓰레기와 미세 플라스틱으로 오염되면서 인간 건강에 위협을 미친다는 문제와 노동 집약적인 특성으로 인한 신규 인력 유치의 어려움, 고령화 비율의 증가 문제를 해결하기 위해 지속 가능한 수산 식품을 개발하는 회사이다. 셀쿠아는 수산 동물 조직으로부터 세포를 확보하여 자체 개발한 세포배양액과 항동결액을 사용해 세포를 안전하게 보관하고 있으며, 여러 특허 기술을 기반으로 GMO 기술을 사용하지 않는 세포를 사용하고 있다. 또한, 자동화 시스템을 통해 연구개발 환경을 지속적으로 개선해가고 있다. 셀쿠아는 뱀장어, 살오징어, 미꾸라지, 새우 등 10종의 수산 동물 세포를 확보하여 배양육을 개발하고 있으며, 소태아혈청을 대체하는



그림 7. 심플 플래닛의 세포배양 파우더 (출처: 바이오타임즈).



그림 8. 팡세가 개발한 바이오 프린터와 세포배양육 샌드위치(출처: 네오크레마).

자체 배양액을 개발해 동물성 성분 없이도 효율적인 세포 배양을 가능하게 하고 있다. 최근에는 수산 동물 세포배양 공정을 규격화한 세포배양키트 시제품을 개발해 대학 및 연구기관에서 실증을 진행 중이다(그림 9).

2.6. 국외 세포 배양육 기업 및 기술 현황

2.6.1. Good Meat (미국)

Good Meat는 미국 식품 기술 기업인 Eat Just가 2021년 5월에 출시한 배양육 전문 브랜드로 본사는 미국 캘리포니아주 샌프란시스코와 싱가포르에 위치해 있다. 2020년 12월, 세계 최초로 싱가포르 정부로부터 배양 닭고기 판매 승인을 받아 치킨 너겟 제품을 출시하며 상업화에 성공하였고, 이후 미국 식품의약국(FDA)과 농무부(USDA)로부터도 판매 규제를 승인받았다. 가장 최근에는 2024년 1월 4일, 성장 인자, 동물 혈청 또는 동물성 성분이 거의 없거나 없는 환경에서도 배양이 가능한 동물세포 및 그 활용 방법에 관한 특허가 공개한 바 있다. 싱가포르에서의 상업화 이후에도 판매는 지속되었지만, 대량 생산의 한계로 인해 대중화에는 어려움을 겪고 있는 상황이며 이에 따라 캘리포니아주 알라메다에 위치한 자체 공장에서 공정 개발에 집중하고 있으며 보다 효율적인 생산이 가능한 새로운 세포주 개발에 박차를 가하고 있는 상황이다(그림 10).



그림 10. (좌) Good Meat 기업의 로고, (우) China Chilcano 식당에서 선보인 페루식 닭꼬치 요리 'Anticuchos de Pollo'(출처: Good Meat).

2.6.2. Upside Foods (미국)

Upside Foods는 2015년 Uma Valeti, Nicholas Genovese, Will Clem에 의해 설립된 배양육 기업으로, 본사는 미국 캘리포니아주 버클리에 위치해 있다. Good Meat와 마찬가지로 배양 닭고기를 개발하였으며 2023년 6월, 미국의 식품의약청(FDA)과 미국 농무부(USDA)로부터 배양 닭고기 판매 승인을 받았다. 2021년 미국 에머리빌에 배양육 생산을 위한 에픽 공장을 개설하였으며 해산물 제품 상업화를 위해 해산물 제품을 위한 독점 세포주를 개발하는 Cultured Decadence 기업을 인수하였다. 2024년 8월, 플로리다주가 배양육의 판매를 금지하는 법안을 시행하자 Upside Foods는 소송을 제기하여 플로리다에서 자사의 제품



그림 9. (좌) 수산동물 세포/세포주, (우) 소태아 혈청 대체 첨가물(출처: 셀쿠아).

을 판매할 수 있는 권리를 확보하기 위해 노력하고 있다. 이와 함께 2025년 말까지 미국 내 레스토랑에서 치킨 배양육 슈레드 제품을 출시할 계획이며 현재 미국 농무부(USDA)와 식품의약국(FDA)의 추가 승인을 기다리고 있다. 또한 미국의 유명 육류 유통업체인 Pat LaFrieda와 협력하여 배양육 제품을 레스토랑 메뉴에 통합하려는 노력을 진행 중이다(그림 11).

2.6.3. Prolific Machines (미국)

2020년 줄기세포 생물학 박사와 물리학박사 등으로 구성된 연구진이 공동 창업한 미국의 배양육 스타트업체로 기존의 방식보다 저렴한 비용으로 배양육을 생산하기 위해 재조합 단백질 없이도 줄기세포의 성장 및 분화를 유도하는 새로운 기술을 개발하였다. 이 기술은 기존의 공장식 농업 수준의 가격경쟁력을 목표로 하여, 배양육 제품 개발에 앞서 확장 가능한 제조 공정을 우선적으로 구축한 것이 특징이다. 2024년 6월, 시리즈 B1 투자 라운드에서 5,500만 달러의 자금을 유치하였으며, 현재 다양한 산업 파트너들과 협력하여 기술의 상용화를 추진하고 있다. 2025년 4월에는 세계 최대 규모인 200리터 스테인리스 바이오리액터에서 광유전학 기반 세포 생산에 성공하며 기술력을 입증하였다(그림 12).



그림 12. Prolific machines사의 배양육 (출처: Prolific machines).

2.6.4. Mosa Meat (네덜란드)

Mosa Meat는 2016년 네덜란드 마스트리흐트에서 Mark Post와 Peter Verstrate에 의해 설립된 배양육 기업으로, 2013년 세계 최초로 배양육 햄버거 패티를 대중에게 선보이며 큰 주목을 받았다. 당시 배양 패티 하나를 생산하는 데 약 33만 2,000달러가 소요되었지만, 이후 품질 개선과 생산 비용 절감을 위한 지속적인 연구가 이어져 왔다. 특히, 소태아혈청(FBS)을 사용하지 않고 세포의 유전적 변형 없이 배양육을 생산하는 방식을 개발해 관련 논문을 발표하기도 했다. 2023년



그림 11. (좌) Upside Foods 기업의 로고, (우) Bar Crenn에서 선보인 Upside Foods의 배양 닭고기 튀김 (출처: PR Newswire).

7월, 네덜란드는 유럽 연합 국가 중 최초로 통제된 환경에서 배양육 및 해산물 제품의 시식을 허용하였으며, 같은 해 9월 Mosa Meat는 기업의 지속 가능성과 투명성, 사회적 책임을 인정받아 B Corp 인증을 획득하였다. 이후 2025년 1월에는 유럽식품안전청(EFSA)과 스위스 연방식품안전수의청(FSVO)에 배양 소 지방 제품의 판매 승인을 신청하며 상용화에 한 걸음 더 다가서고 있다(그림 13).

2.6.5. Meatable (네덜란드)

Meatable은 2018년 네덜란드에서 설립된 배양육 기업으로, 항생제 없이 물 소비를 줄이며 서구식 식단에서 소비되는 1,000마리 이상의 동물을 대체할 수 있는 배양육 개발을 목표로 하고 있다. 2024년에는 싱가포르에서 시식 행사를 성공적으로 마치며 본격적인 상업화를 앞두고 있으며, 이를 위한 3,500만 달러의 추가 자금 확보 계획도 발표했다. 같은 해 4월에는 본사가 위치한 네덜란드에서 유럽 연합 내 최초로 공식 승인된 배양육 시식 행사를 개최해 배양 돼지고기 소시지를 선보였다. 특히 자사의 특허 기술인 'Opti-Ox'를 통해 돼지 줄기세포를 단 4일 만에 근육과 지방 조직으로 분화시키는 데 성공했으며, 이 기술은 2024년 TIME지가 선정한 '올해의 발명품'에 포함되며 높은 기술력을 인정받았다(그림 14).

2.6.6. Steakholder Foods (이스라엘)

Steakholder Foods는 2019년 이스라엘에서 설립된 'MeaTech 3D'를 전신으로 하는 기업으로, 현재는 3D 프린팅 기술을 접목한 배양육 생산을 주력 사업으로 삼고 있다. 근육세포와 지방세포로 구성된 바이오 카트리지를 활용해 다양한 형태의 배양육을 디자인하고 생산할 수 있으며, 최대 104 g 규모의 배양육을 프린팅할



그림 13. (좌) Mosa Meat 기업의 로고, (우) 네덜란드 정부의 허가로 배양육 첫 시음회(출처: Mosa meat).



그림 14. Meatable 시식회(출처: Meatable).

수 있는 기술력을 보유하고 있다. 또한, Umami Meats와의 협업을 통해 세계 최초의 3D 바이오 프린팅 생선 제품을 공개하며 대체 단백질 분야에서의 혁신을 이끌었고, 이스라엘이 미국에 이어 대체 단백질 연구 분야 세계 2위로 자리매김하는 데 기여했다. 2024년부터 2025년까지는 Bondor Foods 및 Wyler Farm과의 상업 계약을 통해 실제 매출을 창출하며 상용화 단계에 진입하였으며, 특히 Wyler Farm과는 산업 규모의 3D 프린팅 대체육 생산을 추진 중이다(그림 15).

2.6.7. Aleph Farms (이스라엘)

Aleph Farms는 2017년 설립된 이스라엘 기업으로, 소의 수정란에서 유래한 세포로부터 다양한 전구세포를 확보해 약 4주간 배양하여 스테이크 형태의 배양육을 생산한다. 자사 제품 브랜드인 Aleph Cuts는 유전적 추적 가능성과 항생제 없이 맞춤형 영양을 공급하는 점을 특징으로 하며, 첫 상용 제품은 'Petit Steak'이다. 2024년 1월에는 이스라엘 정부로부터 세계 최초로 소고기 배양육의 판매 승인을 받았으며, 이후 태국 시장으로도 진출해 같은 해 12월 태국 FDA에 판매 승인을 신청했다. 이어 2025년 3월에는 총 2,900만 달러(추가 1,000만~1,500만 달러 포함)의 투자를 유치하며 사업 확장의 기반을 마련했으며, 이를 통해 2020년 대비 생산비는 97% 절감, 배양 기간은 60% 단축하는 성과를 거두었다(그림 16).

2.6.8. Believer Meats (이스라엘)

2018년 설립된 이스라엘 기업으로, 주로 닭 세포를 기반으로 한 배양육 개발에 주력하고 있으며, 2022년에는 양고기 배양 기술도 확보하였다. 현재 미국 노스캐롤라이

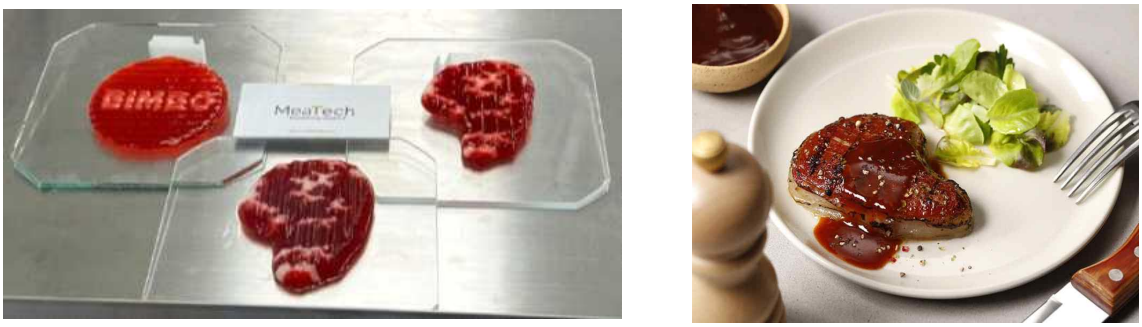


그림 15. Steakholder foods의 3D 프린터로 생산한 배양육(출처: Steakholder foods).



그림 16. Aleph farms가 선보인 배양육 스테이크(출처: Foodnavigator).

나주에 세계 최대 규모의 상업용 배양육 생산 시설을 건설 중이며, 2025년 가동을 목표로 하고 있다. Believer Meats는 특허받은 고밀도 세포 배양 기술과 대형 바이오리액터를 바탕으로 고효율 생산 시스템을 구축하고 있으며, 테이스팅 키친과 첨단 연구개발센터를 운영해 제품의 다양성과 품질을 강화하고 있다. 또한 독일의 공정기술 기업 GEA와 전략적 파트너십을 맺어 생산 수율을 극대화하고 원가 절감을 추진하고 있다(그림 17).

2.6.9. Super Meat (이스라엘)

2015년 이스라엘에서 설립된 배양육 전문 기업으로, 닭고기 조직 샘플을 기반으로 식용 가능한 배양육을 개발 중이다. 2020년에는 이스라엘 네스지오나에 'The Chicken'이라는 시범 레스토랑을 열고, 일반 소비자를 대상으로 배양육 치킨 메뉴를 무료로 제공하는 행사를 진행하며 주목을 받았다. SuperMeat는 배양육이 원하는 크기에 도달하면 매일 절반 정도의 양을 안정적으로 수확할 수 있는 시스템을 개발했다고 밝힌 바 있으며, 2025년 2월에는 아르헨티나의 바이오테크 기업 Stämm과 협력하여 자동화된 연속형 바이오리액터인 'Bioprocessor'를 생산 공정에 도입할 계획을 발표했다. 양사는 2026년까지 배양 닭고기의 상용화를 목표로 하고 있다(그림 18).

III. 결론

세포 배양육은 인류가 직면한 환경오염, 인구증가, 동물 복지 및 윤리적 문제에 대한 효과적인 대안으로 부상하고 있으며, 기존 축산업의 한계를 보완할 수 있는 차세대 식량 자원으로 주목받고 있다. 세포 배양 기



그림 17. (좌) Believer Meat의 양고기 배양육, (우) 바이오리액터(출처: Believer Meats).



그림 18. (좌) 배양육 닭고기로 치킨 버거를 만드는 장면, (우) 배양육 치킨 푸드 레스토랑(출처: Supermeat).

술의 발전에 따라 근육세포의 확보 및 증식, 적합한 배양액과 지지체의 개발, 정밀한 생장 환경의 제어를 통해 실제 고기와 유사한 조직 구조와 식감을 구현하는 데 점차 성공하고 있다. 특히, 다양한 축종과 어종에 대한 세포주 개발은 맞춤형 식품 생산의 가능성을 제시하며, 지지체의 물리적·생물학적 특성 개선을 통해 제품 다양화 또한 기대된다. 그러나 세포 배양육은 여전히 고비용 구조, 생산공정의 복잡성, 윤리적·종교적 수용성, 소비자 인식 등 여러 한계에 직면해 있다. 특히, FBS 기반 배양액의 윤리성과 가격 문제, 불멸화 세포주의 유전자 조작에 따른 GMO 논란 등은 상업화 과정에서 반드시 해결되어야 할 과제로 남아 있다. 또한, 대량 생산을 위한 기술적 인프라 구축과 규제 기반 마련, 산업·학계·정부 간 협력 모델 구축이 병행되어야 한다. 향후 세포 배양육 산업의 지속 가능한 발전을 위해서는 과학적 연구뿐 아니라 정책적 지원, 사회적 수용성 확보를 위한 소비자 교육, 글로벌 기준에 부합하는 규제 체계 마련이 필요하다. 이를 통해 세포 배양육은 단순한 대체육을 넘어, 인류 식량 안보를 위한 핵심 솔루션으로 자리매김할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원(IPET)의 고부가가치 식품 기술 개발사업의 지원을 받아 작성되었음(321028-5). 본 연구성과물은 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 지원을 받아 작성되었음(RS-2024-00460285).

References

Aleph Farms. Aleph Farms granted world's first regulatory approval for cultivated beef. Available from: https://aleph-farms.com/journals/aleph-farms-granted-worlds-first-regulatory-approval-for-cultivated-beef. Accessed Apr. 26, 2025.

Aleph-farms. Aleph farms files for regulatory approval in Thailand, eyes 2026 launch of cultivated beef. *Green queen*. Available from: https://www.greenqueen.com.hk/aleph-farms-lab-grown-meat-cultivated-beef-thailand-approval. Accessed Feb. 5, 2025.

Aleph-farms. Exclusive: Aleph farms lands $29 million to commercialize lower-cost whole-cut cultivated steak. *AgFunderNews*. Available from: https://agfundernews.com/exclusive-aleph-farms-raises-30m-unveils-lower-cost-version-of-whole-cut-technology. Accessed Apr. 25, 2025.

Aleph-farms. In world first, Israel approves cultured beef for sale to the public. *THE TIMES OF ISRAEL*. Available from: https://www.timesofisrael.com/in-world-first-israel-approves-cultured-beef-for-sale-to-the-public. Accessed Apr. 17, 2025.

Andy Mridul. UPSIDE Foods' cultivated meat: lab-grown chicken banned or approved? *Green Queen*. Available from: https://www.greenqueen.com.hk/upside-foods-cultivated-meat-lab-grown-chicken-banned-approved/. Accessed May. 1, 2025.

Ataman D. UPSIDE, Pat LaFrieda Meat Purveyors team to serve cultivated meat. *Food navigator-USA*. Available from: https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2025/01/27/upside-foods-pat-lafrieda-expand-cultivated-meat-options-in-restaurants. Accessed Jan. 27, 2025.

Bambridge-Sutton. Mosa Meat submits cultivated fat application to EU. Available from:

https://www.foodnavigator.com/Article/2025/01/22/mosa-meat-submits-application-to-eu. Accessed Jan. 22, 2025.

Baum CM, Bröring S, Lagerkvist CJ. Information, attitudes, and consumer evaluations of cultivated meat. Food Qual Prefer, 92, 104226 (2021)

Believermeats. Ahead of opening world's largest cultivated meat factory, believer meats taps GEA to drive down costs. *Green Queen*. Available from: https://www.greenqueen.com.hk/believer-meats-gea-lab-grown-chicken-cultivated-meat-costs-emissions. Accessed Apr. 30, 2025.

Benjamin F. Good meat builds world's largest bioreactors to produce cultivated meat. Food ingredients first. Available from: https://www.foodingredientsfirst.com/news/good-meat-builds-worlds-largest-bioreactors-to-produce-cultivated-meat.html. Accessed Apr. 26, 2025.

Bhat ZF, Morton JD, Mason SL, Bekhit AEDA, Bhat HF. Technological, regulatory, and ethical aspects of in vitro meat: A future slaughter-free harvest. Compr Rev Food Sci Food Saf, 18(4), 1192-1208 (2019)

Bryant C, Barnett J. Consumer acceptance of cultured meat: An updated review (2018-2020). Appl Sci, 10(15), 5201 (2020)

Bryant CJ. Culture, meat, and cultured meat. J Anim Sci, 98(8), skaa172 (2020)

Choi KH, Yoon JW, Kim M, Lee HJ, Jeong J, Ryu M, Jo CR, Lee CK. Muscle stem cell isolation and *in vitro* culture for meat production: A methodological review. Compr Rev Food Sci Food Saf, 20(1), 429-457 (2021)

Djisalov M, KnežićT, Podunavac I, ŽivojevićK, Radonic V, KneževićNŽ, Bobrinetskiy I, Gadjanski I. Cultivating multidisciplinarity: Manufacturing and sensing challenges in cultured meat production. Biology (Basel), 10(3), 204 (2021)

European Food Safety Authority. EFSA's Scientific Colloquium 27 Cell culture-derived foods and food ingredients. *European Food Safety Authority*. Available from: https://www.efsa.europa.eu/en/events/efsas-scientific-colloquium-27-cell-culture-derived-foods-and-food-ingredients. Accessed Apr. 12, 2025.

Hwang SY. '배양육' 산업, 엄청난 성장 잠재력 '2040년 육류 시장 35%'…국제 규범 마련 시급. Available from: https://www.thinkfood.co.kr/news/articleView.html?idxno=98179. Accessed Feb. 5, 2025.

Jewish Virtual Library. Vital statistics: Latest population statistics for Israel, Available from: https://www.jewishvirtuallibrary.org/latest-population-statistics-for-israe. Accessed Apr. 20, 2025.

Kim GH, Oh J, Cho MS. Perception and choice attribute of vegetarians and omnivores toward plant-based foods. Journal of the Koran Society of Food Culture, 37(2), 99-108 (2022)

Lee SY, Yun SH, Jeong JW, Kim JH, Kim HW, Choi JS, Kim GD, Joo ST, Choi IH, Hur SJ. Review of the current research on fetal bovine serum and the development of cultured meat. Food Sci Anim Resour, 42(5),

775 (2022).

Marissa Sheldon, MPH. Lab-Grown Chicken Approved for Sale in U.S. NYC Food Policy. Available from: https://www.nycfoodpolicy.org/food-policy-snapshot-lab-grown-chicken-approved-for-sale-united-states. Accessed Apr. 11, 2025.

Meatable. Lab grown meat. Available from: 30 Apr. 2025, https://time.com/7094637/meatable-opti-ox.

Meatable. Meatable successfully hosts first cultivated meat tasting in European union. Available from: https://www.meatable.com/releases-announcements/press-release-first-eu-tasting. Accessed Apr. 30, 2025.

Ministry of Agriculture, food and rural affairs. 5대 유망식품 육성을 통한 식품산업 활력 제고 대책. Available from: https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/68/322179/artclView.do. Accessed Dec. 3, 2024.

Ministry of Food and Drug Safety. '의약 분야 규제 혁신 국민 대토론회' 개최. Available from: https://www.khidi.or.kr/board/matrixView?linkId=48876723&menuId=MENU01502&titleId=468531. Accessed May. 1, 2025.

Ministry of Food and Drug Safety. 100 Key tasks for regulatory innovation in food and drug. Final Report of MFDS, MFDS 1660184791-2 (2025).

Ministry of Health. Public health protection (Food) law. Available from: https://www.gov.il/he/pages/health-mazon01a. Accessed Mar. 23, 2025.

MosaMeat. Celebrating the 10 year anniversary of the world's first cultivated beef burger. Available from: https://mosameat.com/blog/celebrating-the-10-year-anniversary-of-the-worlds-first-cultivated-beef-burger. Accessed Apr. 5, 2025.

MosaMeat. Cultivating meat: The mosa approach. Available from: https://mosameat.com/blog/cultivating-meat-the-mosa-approach. Accessed Apr. 6, 2025.

MosaMeat. Furthering our mission through B corp certification. Available from: https://mosameat.com/blog/furthering-our-mission-through-b-corp-certification. Accessed Mar. 7, 2025.

MosaMeat. Mosa meat becomes B corp certified. Available from: https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/17997578/mosa-meat-becomes-b-corp-certified?publisherId. Accessed Apr. 28, 2025.

Mridul A. Mosa meat: Cultivated meat pioneer files for Switzerland approval after instant crowdfunding success. Available from: https://www.greenqueen.com.hk/mosa-meat-lab-grown-meat-cultivated-burger-crowdfunding. Accessed Apr. 28, 2025.

National Food Services. Israel ministry of health. novel food. Available from: https://www.gov.il/en/pages/novel-food. Accessed Apr. 30, 2025.

Nikkhah A, Rohani A, Zarei M, Kulkarni A, Batarseh FA, Blackstone NT, Ovissipour R. Toward sustainable culture media: Using artificial intelligence to optimize reduced-serum formulations for cultivated meat. Sci. Total Environ, 894, 164988 (2023)

O'Neill EN, Cosenza ZA, Baar K, Block DE.

Considerations for the development of cost-effective cell culture media for cultivated meat production. Compr Rev Food Sci Food Saf, 20(1), 686-709 (2021)

Oestbye TKK, Ytteborg E. Preparation and culturing of atlantic salmon muscle cells for *in vitro* studies. In: Myogenesis: Methods and Protocols. Springer, New York, pp 319-330 (2018)

Ong KJ, Johnston J, Datar I, Sewalt V, Holmes D, Shatkin JA. Food safety considerations and research priorities for the cultured meat and seafood industry. Compr Rev Food Sci Food Saf, 20(6), 5421-5448 (2021)

Pajčin I, Knežić T, Savic Azoulay I, Vlajkov V, Djisalov M, Janjušević L, ... Gadjanski I. Bioengineering outlook on cultivated meat production. Micromachines, 13(3), 402 (2022)

Pakseresht A, Kaliji SA, Canavari M. Review of factors affecting consumer acceptance of cultured meat. Appetite, 170, 105829 (2022)

Park S, Jung S, Heo J, Koh WG, Lee S, Hong J. Chitosan/cellulose-based porous nanofilm delivering c-phycocyanin: A novel platform for the production of cost-effective cultured meat. ACS Appl Mater Interfaces, 13(27), 32193-32204 (2021)

Post MJ. Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. Meat Sci, 92(3), 297-301 (2012)

PR Newswire. UPSIDE foods acquires cultivated seafood company cultured decadence. Available from: https://www.prnewswire.com/news-releases/upside-foods-acquires-cultivated-seafood-company-cultured-decadence-301467527.html. Accessed Jan. 25, 2025.

PR Newswire. UPSIDE foods makes history with first consumer sale of cultivated meat in the US and highly anticipated restaurant debut. Available from: https://www.prnewswire.com/news-releases/upside-foods-makes-history-with-first-consumer-sale-of-cultivated-meat-in-the-us-and-highly-anticipated-restaurant-debut-301868494.html. Accessed May. 7, 2025.

PR Newswire. UPSIDE Foods opens cultivated meat Engineering, Production, and Innovation Center (EPIC) as next step in commercialization journey. Available from: https://www.prnewswire.com/news-releases/upside-foods-opens-cultivated-meat-engineering-production-and-innovation-center-epic-as-next-step-in-commercialization-journey-301416457.html. Accessed May. 29, 2024.

Prolific Machines. Mark Cuban and Emily Ratajkowski back prolific machines' $42 million raise to scale (Cheap) cultivated meat. Available from: https://www.greenqueen.com.hk/mark-cuban-emily-ratajkowski-back-prolific-machines/. Accessed Apr. 10, 2025.

Prolific Machines. Optogenetics startup prolific machines raises $55m series B1, uses light to 'control virtually any cell function in any cell type. Available from: https://agfundernews.com/optogenetics-startup-prolific-machines-raises-55m-series-b1-uses-light-to-contr

ol-virtually-any-cell-function-in-any-cell-type. Accessed Apr. 12, 2025.

Prolific Machines. Prolific Machines Announces the Completion of Optogenetic Bioproduction at 200L, Marking the World's Largest Demonstration of Optogenetics to Date. Available from: Prolific Machines Announces the Completion of Optogenetic Bioproduction at 200L, Marking the World's Largest Demonstration of Optogenetics to Date-BioSpace. Accessed Mar. 17, 2025.

Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods. Official Journal of the European Union, L327, 1-22 (2015). Available from: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32015R2283. Accessed Apr. 7, 2025.

Reis GG, Heidemann MS, Borini FM, Molento CFM. Livestock value chain in transition: Cultivated (cell-based) meat and the need for breakthrough capabilities. Technol Soc, 62, 101286 (2020)

Ritchie H, Roser M. Meat and Dairy Production. Available from: https://ourworldindata.org/meat-production. Accessed Apr. 30, 2025.

Rubio N, Datar I, Stachura D, Kaplan D, Krueger K. Cell-based fish: A novel approach to seafood production and an opportunity for cellular agriculture. Front Sustain Food Syst, 3, 43 (2019)

Ruedinger F, Lavrentieva A, Blume C, Pepelanova I, Scheper T. Hydrogels for 3D mammalian cell culture: A starting guide for laboratory practice. Appl Microbiol Biotechnol, 99, 623-636 (2015)

Sandy Ong. Singapore doubles down on lab-grown meat as Silicon Valley backs off, Rest of World. Available from: https://restofworld.org/2024/lab-grown-meat-singapore. Accessed Apr. 19, 2025.

Santo VE, Bou-ghannam SS, Lee GE. Cultivated animal cells adapted for growth in low amounts, and/or the absence of, direct growth factors, indirect growth factors, animal serum, and/or animal components, and methods of use thereof. USA Patent No. WO2024007033A1 (2024)

Seo JW, Jung WK, Park YH, Bae H. Development of cultivable alginate fibers for an ideal cell-cultivated meat scaffold and production of hybrid cultured meat. Carbohydr Polym, 321, 121287 (2023)

Shaked O. Israeli Chief Rabbi Rules Cultured Meat is Kosher (GAIN Report No. IS2023-0002). United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, p 1-5 (2023). Available from: https://www.fas.usda.gov/data/israel-israeli-chief-rabbi-rules-cultured-meat-kosher. Accessed Apr. 30, 2025.

Sivakumar S, Swaminathan TR, Anandan R, Kalaimani N. Medium optimization and characterization of cell culture system from Penaeus vannamei for adaptation of white spot syndrome virus (WSSV). J Virol Methods, 270, 38-45 (2019)

Southey F. A great achievement for the Dutch government': First member state approves pre-market tastings of cultivated meat. Available from: https://www.foodnavigator.

com/Article/2023/07/19/cultivated-meat-tastings-formally-approved-in-the-netherlands. Accessed Apr. 29, 2025.

Stämm and SuperMeat Collaborate to Accelerate Cultivated Meat Biomanufacturing, with Support from Mutual Investor Varana Capital. PR Newswire (2024). Available from: https://www.prnewswire.com/news-releases/stamm-and-supermeat-collaborate-to-accelerate-cultivated-meat-biomanufacturing-with-support-from-mutual-investor-varana-capital-302367321.html. Accessed Apr. 30, 2025.

Steakholder Foods 3D Bio-Prints the "World's First" Whole Fillet Cultivated Fish. Available from: https://vegconomist.com/company-news/steakholder-foods-3d-bio-prints-the-worlds-first-whole-fillet-cultivated-fish-fillet/. Accessed Apr. 30, 2025.

Steakholder Foods and Wyler Farms Partner to Launch 3D Printed Plant-Based Beef Steaks at Industrial Scale. vegconomist (2024). Available from: https://vegconomist.com/printed-technology/steakholder-foods-wyler-farms-3d-printed-plant-based-beef-steaks-industrial-scale/. Accessed Apr. 30, 2025.

Steakholder Foods Reports 2024 Financial Results and Provides Business Update. *Globe Newswire*. Available from: https://www.globenewswire.com/news-release/2025/03/31/3052189/0/en/Steakholder-Foods-Reports-2024-Financial-Results-and-Provides-Business-Update.html. Accessed Mar. 31, 2025.

Steakholder Foods Unveils Its New, Highly Marbled 3D Printed Beef Cuts. Available from: https://www.3dnatives.com/en/steakholder-foods-unveils-its-new-highly-marbled-3d-printed-beef-cut/. Accessed Apr. 30, 2025.

Stout AJ, Mirliani AB, Rittenberg ML, Shub M, White EC, Yuen JS Jr, Kaplan DL. Simple and effective serum-free medium for sustained expansion of bovine satellite cells for cell cultured meat. Commun Biol, 5(1), 466 (2022)

The Associated Press. Federal lawsuit against Florida ban on 'lab-grown' meat still alive after judge's ruling. Available from: https://apnews.com/article/florida-cultured-meat-food-agriculture-business-29dab1b4068cc8d9787d537cde641b78. Accessed Feb. 10, 2025.

U.S. Food and Drug Administration. Formal agreement between FDA and USDA regarding oversight of human food produced using animal cell technology derived from cell lines of USDA-amenable species. 7 Mar 2019. Available from: https://www.fda.gov/food/domestic-interagency-agreements-food-expired/formal-agreement-between-fda-and-usda-regarding-oversight-human-food-produced-using-animal-cell. Accessed Apr. 30, 2025.

U.S. Food and Drug Administration. Human food made with cultured animal cells: The science of making food with cultured animal cells. Available from: https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/human-food-made-cultured-animal-cells. Accessed Mar. 21, 2025.

Verma A, Verma M, Singh A. Animal tissue culture principles and applications. Journal

of Animal Biotechnology (Second Edition), 269-293 (2020)

최진주. 심플플래닛, 대량생산 기술로 전 세계 배양육의 중심 '우뚝'. Available from: https://www.biotimes.co.kr/news/articleView.html?idxno=11231. Accessed Dec. 7, 2024.