

배양육 소재 및 인프라 현황

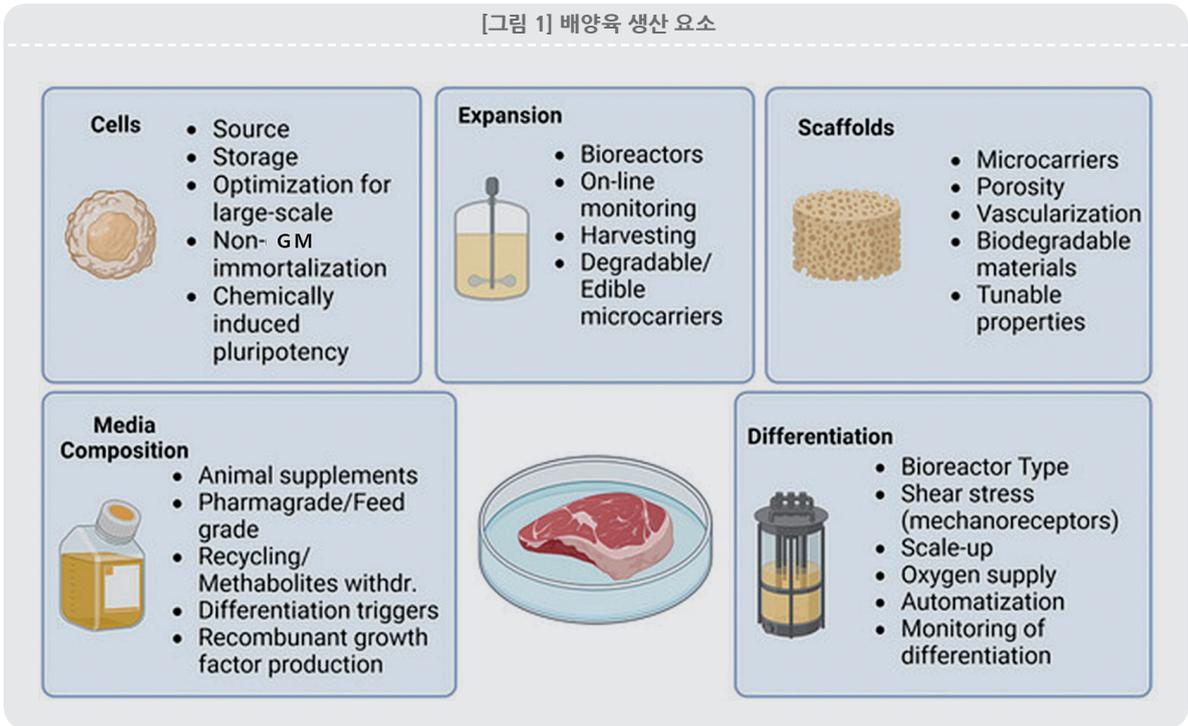
최소영 대리 한국바이오협회 산업정책본부 정책분석팀
지현근 기술이사 다나그린

☞ 들어가며

세포배양시장이 미래 먹거리로 부상하며, 동물세포를 배양한 식품, 배양육(Cultured meat)에 대한 관심이 높아지고 있다. 시장조사기관 Euromonitor International에서는 2040년 배양육 시장이 2,250억 달러(약 297조원)까지 성장할 것으로 예측하였으며, 이 성장 속에 아직 해결해야 할 과제가 있다. 배양육 생산의 주요 최적화 요소는 세포, 배양액, 배양기, 지지체이며 배양육의 생산 규모 확대 및 상용화를 위해서는 ‘비용’이라는 문제를 수반하게 된다. 가장 많은 비용이 드는 요소 중 하나는 배양액이며, 일반적으로 배양액에는 영양소, 비타민, 미네랄, 단백질 및 기타 성장인자가 포함되어 있다. 세포를 체외(in vitro)에서 배양하기 위해 쓰이는 소태아혈청(FBS, fetal bovine serum)은 세포 성장에 필요한 영양소와 염분으로 구성된 기질 배양액과 함께 사용해왔으나, 생산 비용이 높고 제조 배치에 따라 조성도와 품질의 편차가 생겨 대량생산에 불리하다고 여겨져 세계 각국에서는 소태아혈청을 대체하기 위해 화학물질, 재조합 단백질을 배양액으로 사용하기 위해 연구하는 기업들이 많이 있다.

또한, 세포가 성장하는 바이오리액터(생물반응기)를 최적화하는 것은 생산 비용을 해결하는 또 다른 접근 방식이다. 바이오리액터는 세포가 자라는 공간이며 최적의 환경을 유지하는 데 중요한 구성 요소이다. 동물세포를 배양하는 다른 산업에서 여러 종류의 바이오리액터들이 사용되어 왔지만, 배양육 생산에 최적화 되어 있지 않다. 최근 바이오리액터의 어떤 부분이 변경될 수 있는지, 새로운 바이오리액터가 어떻게 디자인될 수 있는지에 대한 연구가 활발하다. 이에 배양육의 필수 요소인 ①배양액(Culture media)과 ②바이오리액터(Bioreactor)에 관한 국내·외 현황에 대해 살펴보고자 한다.

[그림 1] 배양육 생산 요소



출처: Cultivated meat manufacturing: Technology, trends, and challenges, Eng Life Sci, 2023.12, 한국바이오협회 재수정

📦 배양액(Culture media)

동물세포배양에는 일반적으로 소태아혈청을 사용하여 세포 성장에 필수적인 성장인자, 호르몬, 비타민, 아미노산, 지방산 등 다양한 요소를 제공한다. 배양육 생산에 소태아혈청을 사용하고자 하는 경우 지속가능성, 윤리, 가격 등의 측면에서 한계점이 있다. 우선 소태아혈청은 여전히 동물에서 파생된다는 점에서 지속 가능하지 않다는 문제가 있으며, 소태아혈청을 채취하기 위한 소를 따로 사육해야 한다는 한계가 있다. 또한, 바이러스 오염의 위험이 있고, 연간 200만 마리의 태반 내 송아지가 소태아혈청을 생산하는 데 사용되는 것으로 추정된다. 이는 배양육과 같은 식품 응용 분야에 대한 규제 승인과 관련하여 특히 문제가 된다.

소태아혈청의 수급 및 가격 측면에서 발생하는 사용상 한계로 배양육 연구개발 기업에서 무혈청 배양액(Serum-free media)을 개발하고 있다. 무혈청 배양액은 동물에서 유래된 혈청을 사용하지 않는 세포배양액으로서 주로 효모, 콩, 밀, 쌀, 옥수수, 감자, 해조류 등을

주원료로 하는데, 주원료만으로는 영양분이 부족하므로 다양한 첨가물을 필요로 한다. 첨가물질을 추가하는 경우 기존에 식품으로 인정되지 않았던 성분일 가능성이 높으므로, 안전성에 관한 이슈가 발생할 수 있다. 안전성 문제를 해결하기 위해서는 무혈청 배양액 내 첨가물이 섭취 가능한 수준으로 무해하다는 것을 증명하거나, 섭취 가능한 기존 허가 성분만으로 제조하여야 한다. 첨가물의 무해성을 증명하는 것은 많은 시간과 비용을 투자하여 여러 테스트를 거쳐야 하므로 배양육 산업의 육성을 저해하는 새로운 규제로 작용할 여지가 있는 반면, 섭취 가능한 기존 허가 성분만으로 제조하는 것은 배양육 제조 효율을 높이기 어렵고 제조 비용이 높아지며, 기술적으로도 어려움이 있을 수 있다.

화학조성 배양액(Chemically defined Cell media)은 동물 줄기세포 배양용 무혈청 배양액으로 항균 펩타이드 및 세포 성장인자 등을 포함하며, 무혈청 배양액을 이용해 배양한 줄기세포 치료제 등 다양하게 활용된다. 동물세포 배양액에서 소태아혈청의 사용은 세포 부착 및 성장을 지원하는 것으로 알려진 광범위한 분자를 제공하기 때문에 널리 보급되어 있으나, 성장인자를 활용하여 세포 기반 배양액 및 동물 유래 성장인자를 효과적으로 대체할 수 있는 화학조성 배양액을 개발하기 위한 연구개발 활동이 활발하다.

국외

무혈청 배양액 개발을 위해 많은 기업들이 연구를 진행하고 있으며, 성장인자를 첨가하지 않고 주변에 다른 세포를 배양하여 필요한 성장인자를 공급하는 방법을 연구하는 기업도 등장하였다.

호주의 휴로스(Heuros)는 유전자 조작 없이 재조합 단백질을 합성하여 항생제, 호르몬 및 혈청이 함유되지 않은 배양액을 연구하고 있다. 네덜란드의 배양육 기업인 모사미트(Mosa Meat) 연구팀에서는 무혈청 증식 및 분화 배양액 생산에 대한 논문을 '네이처푸드(Nature Foods)'에 발표하며, 소태아혈청을 유전자 변형 없이 대체한 방법을 공개하였다.

일본의 인테그리컬쳐(IntegriCulture)는 공배양(co-culture) 기반 세포 배양 기술인 CulNet System을 개발하기도 했다. 미국의 터프츠(Tufts)대학교와 같은 학술 기관들은 무혈청 배양액 및 신속한 근육 세포 분화를 위한 차별화 배양액 등 여러 종류의 배양액을 개발했다.

국내

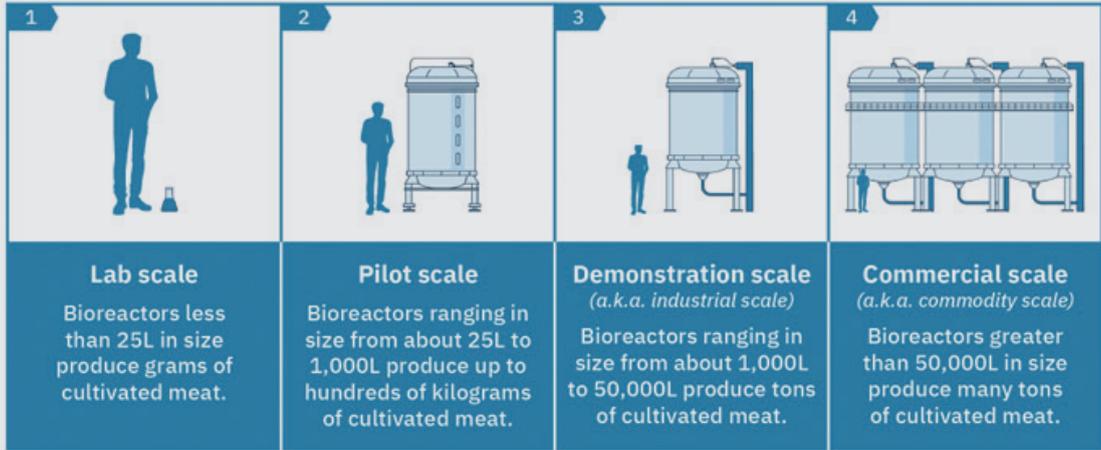
국내 식품 업계는 소태아혈청을 대신할 배양액을 개발하고 있다. 소태아혈청이 비윤리적이라는 지적이 있어 대체 배양액을 개발하는 추세로 대상, CJ제일제당, 풀무원 등은 국내외 스타트업에 투자를 늘리는 중이다. 대상은 2021년 6월 엑셀세라퓨틱스, 8월 스페이스에프와 파트너십을 체결하여 소혈청 없는 배양액을 개발하며, 배양육 대량생산을 위한 대량 배양 설비를 도입하고 2025년까지 공정을 확립해 제품화할

방침이다. CJ제일제당은 2021년 2월 세포배양액 생산기업 케이셀바이오사이언스와 업무협약을 맺었으며, 케이셀바이오사이언스는 2024년 세포배양액 생산 공장을 가동에 들어가 무혈청 배양액을 양산할 예정이다. 풀무원의 경우, 2018년 미국 수산배양육 개발 기업 블루날루(Blue Nalu)와 업무협약을 맺었다. 블루날루는 어류에서 채취한 줄기세포를 3D프린팅 방식으로 가공하고 배양육을 만들며, 지구온난화로 어획량이 줄어들고 있어 수산배양육 또한 인류의 미래 먹거리로 주목받고 있다. 씨위드(SeaWith)는 해양미세조류인 스피롤리나 추출물을 주성분으로 한 배양액을 이용해 한우에서 추출한 줄기세포로 배양육 쇠고기를 개발하고 있다. 다른 국내기업인 셀미트(CellMeat)는 자체 무혈청 배양액을 개발하여, 세계 최초 독도새우 배양에 성공했다고 알려져 있다.

배양육 인프라 현황

터프츠대학교에서 '24년 1월에 개최된 제2회 '세포농업 혁신의 날(Cellular Agriculture Innovation Day)' 패널 토론에서, 배양육의 상품 가격과 규모를 달성하기 위해서는 인프라와 제조 능력에 대한 개선이 필요할 것이라고 언급되었다. 바이오리액터 생산업체 Ark Biotech의 CEO인 요시퀸트는 세계 최대규모의 세포배양 시설 중 하나인 국내 삼성바이오로직스의 역량을 언급하며 배양육의 인프라 현황을 강조했다. 또한, 삼성바이오로직스 시설의 현재 생산량이 약 10,000배 증가해야 동일한 생산 속도에 도달할 수 있으며, 더 큰 바이오리액터, 더 쉽게 접근할 수 있는 세포 배양액, 여과 시스템과 바이오 프로세스 최적화 등이 필수 요인임을 밝혔으며, 생산 자동화 또한 필수적이나 규모의 운영에 필요한 훈련된 과학자의 인력이 현재 존재하지 않아 어려움은 있다고 말했다. 그러나, 2023년에는 어려운 자금조달 환경과 입법 문제에도 불구하고 배양육 기업과 생산시설의 수는 모두 증가하였다. 배양육 기업은 2022년 166개사에서 2023년 174개사로 증가하였으며, 2023년 말 기준 GFI는 전 세계에 35개의 생산시설이 가동되고 있다고 집계하고 있다. 실험실 규모(Lab scale) 연구를 시작으로, 실험실 연구 결과의 기술적/경제적 검증을 위한 실증연구(Pilot scale, Demonstration scale)를 거쳐 최종적으로 제품을 생산(Commercial scale)하여 판매하는 과정을 거치게 된다. 2023년에는 여러 지역에서 배양육 생산시설이 착공되어 글로벌 공급망 확대에 기여했으며, 특히 새로운 배양육 시설은 스케일업 과정의 4단계에 걸쳐 있었다. 큰 규모의 시설이 지어지고 있을 뿐만 아니라, 실험실 규모와 파일럿 규모의 시설이 계속 추가되고 있는데, 이는 배양육 분야가 확장되고 진행되고 있다는 것을 의미한다.

[그림 2] 배양육 스케일업 단계



출처: State of the Industry Report: Cultivated Meat and Seafood, GFI, 2024

국외

● 이스라엘

배양육 쇠고기에 대한 규제 승인을 받은 세계 최초의 기업인 이스라엘의 배양육 스타트업 알레프 팜즈(Aleph Farms)는 2023년 3월에 이스라엘 모디인(Mod'i'in)에 있는 제조 시설과 생명공학 회사인 VBL 테라퓨틱스(VBL Therapeutics)의 관련 자산을 인수하고, 싱가포르의 ESCO Aster와 새로운 위탁생산 계약을 체결하였다. 또한, 2024년에는 동남아시아에서 생산능력을 강화하기 위해 바이오 제조 전문업체인 BBGI 및 Fermbox Bio와 파트너십을 맺었다. 이 협력으로 태국 최초의 배양육 생산 공장을 시작하며, 비용 최적화 및 운영 규모 확장을 포함한 생산향상에 중점을 두었다.

또 다른 이스라엘의 배양육 기업인 빌리버 미트(Believer Meats)는 미국 노스캐롤라이나주 윌슨에 배양육 생산시설 20만 평방피트 규모의 시설을 건설하는 데 진전을 이루고 있으며, 완전히 가동되면 연간 1만 톤의 세포 배양육을 생산할 것으로 예상된다.

● 네덜란드

모사미트(Mosa Meat) 기업은 마스트리히트에 4번째 공장을 열면서 세계 최대의 배양육 센터가 되었으며, 약 3만 평방피트 규모의 생산 공장을 열었다. 이 공장은 수만 개의 배양육 버거를 생산할 수 있는 1,000리터 규모의 바이오리액터 규모를 갖추고 있다. 돼지고기 생산업체인 미터블(Meatable)은 3,300㎡ 규모의 파일럿 플랜트 시설을 열어 200리터의

바이오리액터 용량을 갖추고 있으며, 최대 500리터까지 확장할 수 있다고 언급하였다. 또한, 싱가포르에서 식품 서비스 출시를 준비하기 위해 배양육을 대량으로 테스트하고 생산할 수 있는 능력을 확장할 것이며, 싱가포르에서 유일하게 승인된 배양육 제조업체인 ESCO Aster 및 식물성 육류 브랜드인 Love Handle과 파트너십을 맺고 하이브리드 육류 제품을 공동 생산할 것임을 밝혔다.

● 영국

동물성 지방 생산을 목표로 하는 영국 스타트업인 혹스턴팜즈(Hoxton Farms)는 런던에 14만 평방피트의 파일럿 시설을 열었으며, 이 시설은 연간 최대 10톤의 배양 동물성 지방을 생산할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 또한, 배양육 기업인 엑스트라셀룰러(Extracellular)는 영국 브리스톨에 배양육과 수산물 생산을 전담하는 유럽 최대 규모의 파일럿 시설을 열었다. 총 10,000리터의 생산능력을 갖추게 되며, 기존 생산능력을 기반으로 연간 최대 50톤의 배양육을 생산할 수 있으며, 생산량은 추후 연간 최대 100톤까지 증가할 것으로 예상된다.

● 아시아

싱가포르에 본사를 둔 우마미바이오웍스(UMAMI Bioworks)와 말레이시아에 본사를 둔 셀애그리텍(Cell AgriTech)이 말레이시아에 대규모 시설을 건설할 예정이다. 2025년 1분기에 말레이시아 쿨림 하이테크 파크(Kulim Hi-Tech Park)의 UMAMI/Cell AgriTech 시설이 완공되면 최대 5개의 본격적인 생산라인이 포함될 것이며, 부분적으로 태양 에너지로 구동되는 이 부지는 9만 6천 평방피트에 걸쳐 연간 생산량이 3,000톤(600만 파운드)이 될 것으로 예상된다.

중국 푸드테크 기업인 셀엑스(CellX)는 대규모 배양육 파일럿 공장의 완공을 발표하였으며, 수천 리터의 바이오리액터를 수용할 예정이다. 또한, 2025년 출시를 목표로 싱가포르와 미국에서 규제 승인을 신청할 것이라고 밝혔다.

● 호주

호주 최초의 양고기 생산업체인 매직밸리(Magic Valley)는 바이오 혁신 및 인큐베이터 Co-Labs의 새로운 파일럿 시설을 확장하였다. 이 시설이 최대 3,000리터 바이오리액터까지 생산능력을 확장하고 연간 최대 150,000kg의 제품을 생산할 수 있다고 밝혔다.

● 남아프리카 공화국

아프리카 최초의 배양육 스타트업인 뉴폼푸드(Newform Foods)는 엔지니어링 대기업인 Project Assignments와 파트너십을 맺고 아프리카 대륙에서 가장 큰 규모의 시범 시설을 건설했다. 배양육 제품을 기존 시설에서 end-to-end 솔루션을 제공하여 비즈니스 모델을

확장하는 것을 목표로 하며, 배양액 개발, 관심 세포주, 프로토타입 개발 및 확장과 같은 맞춤형 솔루션을 포함한다.

● 미국

미국 스타트업 오미트(Omeat)는 15만 평방피트 규모의 파일럿 플랜트 생산을 완료했으며, 새로운 시설은 오미트 소유의 축산 농장에서 채취된 혈액을 이용하여 배양육을 생산하며, 연간 최대 400톤의 제품을 생산할 수 있다. 또 다른 기업인 포크앤굿(Fork & Good)은 뉴저지에 13만 평방피트 규모의 배양육 파일럿 시설을 열었으며, 이 시설에서 바이오리액터실, 조직배양실, 검사실 등을 포함하고 있으며, 기존 돼지고기 제품과 동등한 가격으로 생산하는 것을 목표로 하고 있다.

그러나, 배양육 인프라 확장에 있어 어려움을 겪는 기업 또한 있다. 배양육 판매에 대한 미국 규제 승인을 받은 유일한 두 기업인 업사이드푸드(Upside Foods)와 잇저스트(Eat Just)는 모두 이전에 산업 규모의 시설을 발표한 바 있다. 업사이드푸드는 일리노이주 글렌뷰에 187,000평방피트 규모의 배양육 공장을 착공하여 궁극적으로 연간 3천만 파운드의 육류와 해산물을 생산 능력을 갖출 예정이었으나 어려운 자금조달 환경으로 중단되었으며, 잇저스트는 바이오리액터 회사인 ABEC와 함께 각각 250,000리터 용량의 대형 바이오리액터 최대 10개를 건설할 계획을 발표하였으나, 이 거래는 ABEC가 연방 법원에 6,100만 달러 이상의 미지급 청구서를 청구하는 소송을 제기하면서 결렬되었다.

국내

경북 의성군에서 2023년 3월에 국내 최초로 세포배양 배양액 연구개발 및 산업화를 위해 '세포배양 산업지원센터'가 개관되었으며, 2024년 말에는 GMP 시설 준공을 목표로 하며, 배양액 제조시설, 부대시설, 사무실 등을 갖출 예정이다.

일회용 바이오리액터 상용화 기업인 마이크로디지탈은 배양육 전문기업 씨위드와 '배양육 세포 대량생산 공정 개발 계약'을 체결하였다. 마이크로디지탈 일회용 바이오리액터인 셀빅(CELBIC)을 이용해 배양육 세포 생산 공정을 개발하며, 성공적으로 마무리되면 수백 리터 급 대용량 조건 공정을 설치하고, 이후 최종 대량생산에 필요한 배양 장비·소모품을 공급하며, 글로벌 시장 진출 단계까지 협력한다는 계획이다.

대상과 세포배양기업 스페이스에프는 2021년 '배양육 및 세포 배양용 배양액 사업을 위한 전략적 파트너십' 계약을 체결하고 2025년까지 배양육 대량생산 설비 및 공정을 갖춰 대량생산에 나서기로 했다. 스페이스에프는 동물성 단백질 대체식품 소재를 개발하는 기업으로 근육줄기세포 분리 배양, 근육 조직 형성, 무혈청 배양액 개발 등에 대한 특허

및 원천기술을 확보하고 있다. 아미코젠은 국내 최초로 세포배양 배양액 생산 국산화에 도전하고 있으며, 2021년 약 610억 원을 들여 연면적 2만 3,140㎡ 규모의 배양액 공장을 건설 중이다. 또 다른 소부장 기업인 케이셀바이오사이언스는 12개 이상의 세포주에 대한 포괄적이고 다양한 제품 구성을 확보하여 관련 원천기술과 생산시스템을 갖췄으며, 부산 기장에 GMP 기준을 준수한 배양 공장을 설립하고 있다.

맺음말

배양육의 상용화를 위해 넘어야 할 과제로 첫 번째는 ‘규제’, 두 번째는 ‘생산비용’이 언급되며, 배양육 산업과 전체 공급망은 생산 확대 문제를 해결하기 위해 많은 노력이 요구된다. 배양육 생산의 핵심 구성 요소인 배양액은 현재 높은 비용이 주요 원인이며, 최근 기업들은 이를 해결하기 위해 더 낮은 비용으로 식품 등급 성분을 만들고, 성장 배양액의 부피당 더 높은 밀도의 세포를 허용하는 새로운 바이오리액터를 설계하는 등 여러 각도에서 노력하고 있다.

또한, 배양육 생산비용을 낮추기 위해서는 대량생산과 대규모 설비가 갖춰져 하는 부분도 있으나, 아직 배양육이 초기 시장이므로 어려움이 존재한다. 이러한 상황에도 불구하고 국내·외 식품 대기업뿐만 아니라 푸드테크 스타트업들까지 배양육의 미래를 긍정적으로 보면서 개발 경쟁에 뛰어들고 있다. 배양육 기업인 심플플래닛은 2025년 자체 배양육을 양산하여 상품화할 수 있을 것으로 예상하고 있고, 세포배양 고단백 파우더 대량생산을 위한 GMP 생산시설 구축에 착수하며 공정 기술 최적화, 식품원료 인허가, 해외 진출 등과 같은 주요 마일스톤을 달성할 계획임을 밝혔다. 또한, 다나그린은 단백질 가공 관련 원천기술을 활용한 미니 장기 제조 경험을 바탕으로, 배양육 지지체 생산설비 및 배양기 확보를 통해 대량생산 자동화 시스템을 구축할 예정이다. 이와 같이 국내 스타트업들이 시범 생산시설을 갖추며 시제품을 생산하고 완성도를 높이는 작업을 이어 나가고 있으며, 대학 연구진들에 의해서도 배양육 기술개발이 활발하게 이뤄지고 있어 관심을 끌고 있다. 2024년 2월에는 연세대학교 홍진기 교수팀은 쇠고기(배양육) 맛이 나는 하이브리드 쌀을 개발했다고 국제 학술지 매터(Matter)을 통해 공개하기도 했다. 배양육 스타트업에 대한 투자와 기술개발이 적극적으로 이루어지고 있는 상황을 봤을 때 빠른 시장 성장 가능성을 기대해본다.

< 참고자료 >

1. Advances in cultured meat technology, burleigh dodds science publishing, 2023
2. Cultivated meat manufacturing: Technology, trends, and challenges, Eng Life Sci, 2023.12
3. Cultivating the Future: A Wave of Cell-Cultured Meat Facilities are Popping Up Across the Globe, green queen, 2023.11.21
4. Israel's Aleph Farms Partners with Thailand's First Cultivated Meat Manufacturing Facility, green queen, 2024.2.21
5. Infrastructure remains lacking for cultivated meat, Food Business News, 2024.1.18
6. The Companies Removing Fetal Bovine Serum to Make Ethical, Slaughter-Free Meat, vegconomist, 2023.1.24
7. The Leading Lab-Grown-Meat Company Just Paused a Major Expansion, WIRED, 2024.2.14
8. US Approves Cultivated Chicken: What's Next for Cultured Meat Industry, IDTechEx, 2023.6.23.
9. A serum-free media formulation for cultured meat production supports bovine satellite cell differentiation in the absence of serum starvation, nature food, 2022.1.13.
10. State of the Industry Report: Cultivated Meat and Seafood, GFI, 2024
11. 2022년 식품R&D 이슈3 배양육 분야 동향 보고서, IPET, 2022.6
12. 어미 소 죽여 만드는 '배양육'...국내 업계 "도축 않는 배양액 개발 중", 매경헬스, 2022.11.23.
13. 미래 먹거리 배양육 시장이 뜨고 있다, 헬스코리아뉴스, 2023.8.28
14. 배양육 10주년@ 2030년 배양육 시장 250억 달러? "가격-대량생산 과제 남아", greenium, 2023.8.11
15. 동물세포로 키워낸 '배양육' 시대 겨냥한 스타트업 투자·기술개발 활기, THE STOCK, 2024.2.16

Writer

최소영 한국바이오협회, 대리

Reviewer

지현근 다나그린, 기술이사

BIO ECONOMY BRIEF

발행 : 2024년 6월 | 발행인 : 오기환 | 발행처 : 한국바이오협회 한국바이오경제연구센터
 13488 경기도 성남시 분당구 대왕판교로 700 (삼평동, 코리아바이오파크) C동 1층, www.koreabio.org
 * 관련 문의 : 한국바이오협회 한국바이오경제연구센터 e-mail : kberc@koreabio.org



Innovating Data Into Strategy & Business



9 772508 681005
 ISSN 2508-6812