

ARTICLE

미래 식량 안보를 위한 식물성 및 동물성 대체육의 현재와 전망

오유나¹ · 김학연^{1,2*} · 이정아^{3**}

¹공주대학교 동물자원학과, ²공주대학교 자원과학연구소, ³해전대학교 농축산식품융합과

Future Outlook on Plant-Based and Animal-Based Meat Substitutes for Ensuring Food Security

Yu-Na Oh¹, Hack-Youn Kim^{1,2*}, Jeong-Ah Lee^{3**}

¹Department of Animal Resources Science, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

²Resources Science Research Institute, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

³Department of Agricultural and Food Convergence, Hyejeon College, Hongseong 32244, Korea

Received: November 22, 2024

Revised: December 10, 2024

Accepted: June 04, 2025

*Corresponding author :
Hack-Youn Kim
Resources Science Research, Kongju
National University, Yesan 32439, Korea
Tel : +82-10-8727-2928
E-mail : kimhy@kongju.ac.kr

**Corresponding author :
Jeong-Ah Lee
Department of Agricultural and Food
Convergence Hyejeon College,
Hongseong 32244, Korea
Tel : +82-10-2845-7913
E-mail : f2024065@hj.ac.kr

Copyright © 2025 Resources Science
Research Institute, Kongju National University.
This is an Open Access article distributed
under the terms of the Creative Commons
Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)
which permits unrestricted non-commercial
use, distribution, and reproduction in any
medium, provided the original work is
properly cited.

ORCID

Yu-Na Oh
<https://orcid.org/0009-0003-2751-7421>
Hack-Youn Kim
<https://orcid.org/0000-0001-5303-4595>
Jeong-Ah Lee
<https://orcid.org/0000-0003-3019-8321>

Abstract

With the exponential growth of the world population and the decline in agricultural production due to global warming, it is predicted that there will be an inevitable shortage of food and meat resources in the future. The global meat consumption, which reached 328 million tons in 2021, is expected to increase by about 70% by 2050, and the existing livestock industry, which utilizes limited resources, is having difficulty meeting the demand. Accordingly, cultured meat produced by culturing cells in the laboratory, plant-based meat processed by extracting proteins from plants have been proposed as sustainable food alternatives. These future protein sources are gaining popularity among consumers who prefer a healthy diet due to their nutritional benefits, and they are receiving attention for their potential to reduce environmental impact. This review describes the types and characteristics of protein sources such as cultured meat, antiserum media, soy protein, wheat protein, and other mushroom mycelia, mushroom cultured meat, processing processes and technologies, market status, institutional challenges and prospects.

Keywords

Sustainable, Cultured meat, Plant-based meat analogues, Mushroom mycelium

1. 서론

1. 인구 증가와 지구온난화로 인한 식량 자원의 부족

전 세계인구는 현재 78억 명에서 2050년에는 99억 명에 이를 것으로 예상된다(PRB, 2020). 영국의 고전 경제학자 토마스 로버트 맬서스(Thomas Robert Malthus)는 인구는 기하급수적으로 증가하지만, 식량 자원은 산술급수적으로만 증가하기 때문에 식량 및 생태위기가 필연적일 것으로 전망했다(Prosekov and Ivanova, 2016). 많은 국가가 증가하는 인구에 대처하여 식량 부족을 어떻게 대처할 것인지에 집중하고 있다(Vignesh *et al.*, 2024). 유엔식량농업기구(FAO)의 보고에 따르면 2050년 동물 유래 식품의 수요가 5.5억 톤에 도달할 것이라 예측하고 있다(Sim *et al.*, 2022). 현재 국제사회에서 가장 주목하는 글로벌 이슈 중 하나는 지구온난화와 기후위기 대응방안을 모색하는 것이다(So, 2023). 20세기는 지난 천년 동안 평균 기온이 약 0.6℃ 상승하는 등 가장 강한 온난화 경향을 경험했으며, 나아가 미래에는 이를 초과하여 10년마다 0.1~2℃의 기온이 상승할 것으로 예상된다(Muluneh, 2021). 실제 홍수, 폭염, 가뭄 등 대규모의 자연재해는 식량 생산에 부정적인 영향을 미치고, 식량 부족과 같은 직접적인 피해를 발생시킨다(Carvalho and Spataru, 2023).

지구온난화는 현재의 식량 안보를 담보할 수 없게 만들었다(Lee *et al.*, 2024a). 대부분의 국가에서의 육류 소비는 1960년대부터 오늘날까지 계속해서 증가해 왔으며(González *et al.*, 2020), Flint *et al.*(2023)은 전 세계 육류 소비량이 2021년 3억 2,800만 톤에 이르렀고 2050년까지 약 70% 증가할 것으로 전망했다. 육류의 수요가 계속해서 증가하고 있는 상황에서 물, 토지와 같은 한정된 자원을 활용한 기존의 축산은 육류 가격의 상승과 소비량의 증가를 감당하기 어려운 실정이다(Reis *et al.*, 2020). Kombolo Ngah *et al.*(2023)은 아프리카의 축산은 세계 가축수의 3분의 1을 차지하지만, 효율성과 생산성이 낮은 시스템과 인프라가 제한된 도살장으로 인해 증가하는 육류 수요를 충족시키기 어렵다고 보고하였고, Singh *et al.*(2021)은 육류 공급 부족에 대한 해결책으로 지속 가능한 식량인 대체 단백질 자원의 수요가 증가하고 있다고 발표하였다.

2. 지속 가능한 식량의 대안으로 미래 단백질 자원의 등장

미래 단백질 자원은 기존 육류와 유사한 맛, 질감, 외관, 영양가를 가지고 있지만 가축 단백질이 포함되어 있지 않은 식품을 포함해서, 고기 유사품, 고기대체품 등 다양한 용어로 불린다(Sun *et al.*, 2021). 현재 식물성 대체육, 배양육 등이 가장 대표적인 미래 단백질 자원으로서 주목받고 있으며, 그 중 미래 단백질 자원 시장에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 식물성 대체육은 식물에서 추출한 단백질을 이용하여 제조한 것이다(You *et al.*, 2020). 소비자는 기존 고기가 가지고 있는 관능적 특성을 유사하게 모방하고 조리할 수 있는 대체육을 선호하는 경향이 있다(Kim *et al.*, 2024). 따라서 미래 단백질 자원 개발의 중요한 측면 중 하나는 적정 단백질 원료를 선택하는 것이다(Mishal *et al.*, 2022). 식물성 대체육의 주원료로는 대두 단백질 및 밀 단백질, 완두콩, 콩, 깨, 땅콩, 목화씨, 쌀 등을 이용하고 있다(Kurek *et al.*, 2022). 이에 기존 고기와 같이 관능적 특성을 향상시킨 대체육을 개발하기 위해 대두 단백질을 활용한 버거 개발, 배양육에 대한 소비자 평가 등 다양한 연구가 진행되고 있다(Milani and Conti, 2024; To *et al.*, 2024). 소비자는 건강한 식단에 대한 요구로 대체육을 선택하는 경향을 보이는데(Arora *et al.*, 2023), 식물성 단백질 원료들은 동물성 원료에 비하여 저지방, 저칼로리이며 동물성에는 없는 폴리페놀 및 각종 생리활성 물질이 함유되어 있어 영양학적으로 우수하다(Cho and Ryu, 2022). 그러나 식물성 대체육 대부분이 육류의 맛과 질감 등 관능적 특성과 유사하지 않기 때문에 기존 고기를 대체하기 위해서는 유사한 관능적 특성의 개선이 요구된다(Godschalk-Broers *et al.*, 2022).

동물성 대체육의 경우 기존의 공장식 축산과 달리 동물권을 보장하면서 항생제 내성 및 인수공통 전염병으로부터 안전하게 생산이 가능하며, 동물성 단백질을 사용함으로써 영양적으로도 우수한 미래 단백질 자원이다(Bryant and Barnett, 2020). 이러한 대체육 시장의 전 세계 매출은 2018년 100억 달러를 넘어섰고, 2025년에는 212억 3천만 달러 규모로 증가하며, 2026년에는 300억 달러에 이를 것으로 예상된다(Xie *et al.*, 2024). Vural *et al.*(2023)은 육식을 하는 소비자와 채식주의자 소비자를 대상으로 대체육에 대한 연구를 진행한 결과, 대체육의 건강한 이미지로 홍보한다면 소비 시장을 확대할 수 있을 것으로 전망했다. 대체육은 주로 종교적 신념으로 인해 전통적인 육류를 먹을 수 없는 소비자 특히 할랄 및 코셔에게 도움이 될 것이며, 이에 따라 대체육의 수요가 증가될 것으로 기대된다(Lee *et al.*, 2020).

따라서 본 연구에서는 인구 증가와 지구온난화로 인해 식량 부족 문제가 대두되고 있는 현 상황에서 기존 육류를 대체할 수 있는 지속 가능한 식량인 미래 단백질 자원의 종류와 특징, 원료 별 특성, 현황, 제도적 과제와 전망에 대해 고찰하고자 한다.

II. 동물성 대체육

동물성 대체육이란 동물로부터 채취한 줄기 세포로 시험관 배양을 진행하여 세포를 성장시킨 뒤 배양된 체외 근육 세포로 만든 육류를 의미한다(Bhat and Fayaz, 2011). 배양육의 생산과정은 Fig.

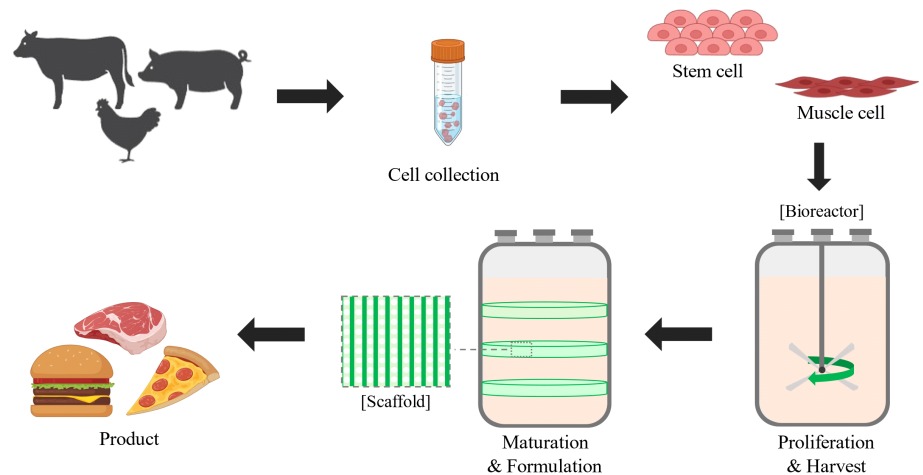


Fig. 1. Cultured meat production process.

1에 나타내었다. 배양육, 시험관 내 육류, 청정육이라고 불리는 동물성 대체육은 공여체로부터 세포를 채취하고, 세포가 성장하고 3차원 구조를 형성하기 위한 지지체를 제작하며, 이후 세포 증식을 위해 바이오 리액터라는 생물 공정을 거쳐 근육 조직으로 성장하게 된다(Allanet *et al.*, 2019). 배양육 개발에는 기존의 육류와 같이 자연성과 영양가를 보장하는 특성이 요구되는데, 이는 배양 조건을 변경하여 건강에 해로운 포화 지방을 건강한 오메가-3 지방산으로 대체하거나 함량을 증가시키는 등 배양육을 구성하는 세포의 생화학적 구성을 최적화 시키는 과정을 통해 달성할 수 있다(Chen *et al.*, 2022a; Post, 2012). 또한 풍미, 지방산 조성, 지방 함량 등을 변경하거나 다른 건강 증진 및 기능성 성분 첨가를 통해 배양육의 구성과 품질을 제어할 수 있다(Arshad *et al.*, 2017). Martins *et al.*(2024)은 배양육이 기존 축산업에 비해 온실가스 배출량을 줄이고 물과 토지의 사용량을 줄여 친환경적으로 지속 가능한 미래 단백질 자원이라고 보고하였다. 배양육이 기존 육류와 유사한 맛을 구현하고 생산 비용을 낮추게 될 경우, 이는 식량 안보, 지속 가능성, 그리고 동물 복지와 같은 글로벌 과제를 해결할 잠재력을 가진 유망한 대안이 될 것이다(Martins *et al.*, 2024).

1. 배양육 생산에 사용되는 세포

다양한 세포 유형과 성장인자를 이용하여 배양육을 생산한 사례는 Table 1에 나타내었다. 근육위성 세포란 근육종과 기저판 사이에 발견되는 줄기세포로 평소에는 잠복기에 있다가 근육이 운동 등 외부 자극으로 인해 충격을 받거나 손상되면 분열하여 근관으로 분화되어 근섬유로 발전하고, 체내 근육 재생의 중요한 역할을 한다(Oh *et al.*, 2023b). 그러나 근육위성세포는 제한된 체외 분열 횟수를 가지고 세포노화가 일어나기 때문에 대규모 배양육 생산을 위해서는 근육위성세포의 지속적인 공급과 균등한 품질의 근육위성세포가 필요한데(Skrivergaard *et al.*, 2023), Kim *et al.*(2023b)은 균등한 품질의 위성세포를 채취하기 위해서는 근육위성세포의 수율 및 품질에 영향을 미치는 공여체의 성별, 연령, 품종 및 질병 상태 등 여러 요소를 고려해야 한다고 보고하였다. Oh *et al.*(2022)은 닭 근육의 위성세포로 6일간 계대배양을 진행하였을 때 제한된 분열 횟수로 인해 세포의 분화는 중단되었지만 닭 근육세포 중에서도 닭가슴 위성세포가 닭다리 위성세포에 비해 분화 능력이 떨어졌다고 보고하여 같은 품종일지라도 부위에 따른 분화능력의 차이가 존재함을 제시하였다.

다능성 줄기세포인 배아줄기세포는 배아의 내배엽, 중배엽, 외배엽에서 유래되며 착상 전 배반포의 내부 세포괴에서 분리할 수 있고 무제한으로 증식하여 다양한 세포 유형으로 분화될 수 있는 세포이다

Table 1. Examples of cultured meat production using various types of cells and growth factors

Cells	Growth factors	Title	References
Small satellite cells	rAlbumin	Simple and effective serum-free medium for sustained expansion of bovine satellite cells for cell cultured meat	Stout et al. (2022)
Fish embryonic stem cells	Insulin-like growth factor, Fibroblast growth factor, Transforming growth factors, Platelet-derived growth factor	Toward sustainable culture media: Using artificial intelligence to optimize reduced-serum formulations for cultivated meat	Nikkhah et al. (2023)
Fish embryonic stem cells	Insect hydrolysate, Marine invertebrate hydrolysates	Evaluating the potential of marine invertebrate and insect protein hydrolysates to reduce fetal bovine serum in cell culture media for cultivated fish production	Batish et al. (2022)
Bovine myoblasts	<i>C. vulgaris</i> extract	Development of serum-free and grain-derived-nutrient-free medium using microalga-derived nutrients and mammalian cell-secreted growth factors for sustainable cultured meat production	Yamanaka et al. (2023)
Bovine myoblasts	<i>C. vulgaris</i> extract	Proliferation and differentiation of primary bovine myoblasts using <i>Chlorella vulgaris</i> extract for sustainable production of cultured meat	Okamoto et al. (2022)
Porcine muscle stem cells	Fermented soybean meal, Edible insect hydrolysate	Evaluation of fermented soybean meal and edible insect hydrolysates as potential serum replacement in pig muscle stem cell culture	Kim et al. (2023a)
Small satellite cells	Rapeseed protein isolate	A Beefy-R culture medium: replacing albumin with rapeseed protein isolates	Stout et al. (2023)
Mammalian cells	Egg whites, Eggshell membrane, Poultry residue, Pea hydrolysate, Porcine plasma, Fibroblast growth factor	Life cycle assessment of culture media with alternative compositions for cultured meat production	Wali et al. (2024)
Small satellite cells	Fibroblast growth factor 2	The comparison of commercial serum-free media for hanwoo satellite cell proliferation and the role of fibroblast growth factor 2	Yu et al. (2023)
Chick satellite cells	Egg white extract	Preliminary study on comparison of egg extraction methods for development of fetal bovine serum substitutes in cultured meat	Lee et al. (2024b)
Fish satellite cells	Lupin, Peas, Rapeseed, Birds, Yeast	Development of serum-reduced medium for mackerel muscle cell line cultivation	Lim et al. (2024)
Fish muscle cells	Auxenochlorella pyrenoidosa	<i>Auxenochlorella pyrenoidosa</i> extract supplementation replacing fetal bovine serum for <i>Carassius auratus</i> muscle cell culture under low-serum conditions	Dong et al. (2023)
C2C12	C-phycoerythrin	Chitosan/cellulose-based porous nanofilm delivering C-phycoerythrin: A novel platform for the production of cost-effective cultured meat	Park et al. (2021b)
C2C12	<i>Chlorococcum littorale</i>	A circular cell culture system using microalgae and mammalian myoblasts for the production of sustainable cultured meat	Haraguchi et al. (2022)
C2C12 Pig immortalized myoblasts	Fermented okara	Ultrafiltrated extracts of fermented okara as a possible serum alternative for cell culturing: potential in cultivated meat production	Teng et al. (2023)
C2C12 QM7	<i>Anabaena</i> sp. PCC 7120	Muscle cell proliferation using water-soluble extract from nitrogen-fixing cyanobacteria <i>Anabaena</i> sp. PCC 7120 for sustainable cultured meat production	Ghosh et al. (2023)

(Kulus *et al.*, 2023). 식육의 구조를 재현하기 위해서는 골격근과 세포의 기질, 미세혈관 조직 및 근내 지방이 필요한데, 이와 같이 다양한 세포가 필요한 점을 고려하면 성체 동물에서 얻는 위성세포보다는 배아줄기세포를 활용하는 것이 유용하다(Hadi and Brightwell, 2021). Bogliotti *et al.*(2018)은 소 배아 줄기세포를 채취, 증식, 배양한 결과 배아줄기세포는 장기적으로 안정적인 핵형으로 증식이 유지되면서 세포 수가 증가하기 때문에 장기 배양에 적합하다고 보고하였다. 그러나 배반포의 수명이 짧아 배아 줄기세포의 채취에 어려움이 존재하고, 배아줄기세포를 분화, 배양시키는 프로토콜이 부족하기 때문에 증식과 수율이 우수하며 다양한 세포 공급원 개발의 필요성이 요구된다(Reiss *et al.*, 2021).

2. 배양육 생산에 사용되는 성장인자

소태아혈청(fetal bovine serum; FBS)은 도살된 임신소의 태아로부터 추출하여 얻어지는 성장촉진 보충제로 호르몬, 항체, 성장인자, 아미노산 등이 풍부하게 들어있어 세포배양 기술에서 보편적으로 사용되고 있다(Lee *et al.*, 2022). FBS는 세포를 부착하고 성장 및 유지시키는데 매우 효과적이지만 (Kim *et al.*, 2023a), Andreassen *et al.*(2020)은 혈청의 비싼 가격으로 인해 세포배양 배지 전체 비용의 약 95%까지 달할 수 있다고 보고하였다. 이에 따라 배양육의 높은 가격대가 형성되게 된다 (Celebi-Birand *et al.*, 2023). 지난 몇 년간 FBS 가격은 약 300% 증가해 왔지만, 아직까지 세포배양에서의 효율성이 우수한 FBS에 의존하고 있는 실정이다(Lee *et al.*, 2024b). 배양육의 산업화를 효과적으로 달성하기 위해서는 배양육을 저렴한 비용으로 대량생산이 가능해야 하기 때문에 현재 미세조류, 난백, 쌀, 밀 등을 이용하여 지속 가능한 혈청 대체 배지를 생산하는 연구가 진행되고 있다(Flaibam *et al.*, 2024; Park *et al.*, 2023a).

배양육을 개발하는데 있어 혈청 대체 배지 생산에 주목하고 있던 상황에서 인슐린 유사 성장인자 (insulin-like growth factors; IGF)는 혈청 배지와 유사한 구조를 가지고 있어 혈청을 효과적으로 대체하는 성장촉진 보충제로 사용되어 왔다(Trinidad *et al.*, 2023). IGF에는 두 개의 유형 IGF-1과 IGF-2가 존재하는데 이들은 세포의 증식과 성장 및 성숙에 중요하게 작용하며, 인슐린과 유사한 구조를 가지고 있다(Venkatesan *et al.*, 2022). IGF-1은 근모세포의 증식과 분화를 모두 효과적으로 촉진하는데, 이러한 증식 촉진 효과는 두 가지의 경로, PI3K/Akt 경로와 MAPK/ERK1/2 경로를 통해 신호 전달이 매개된다(Yu *et al.*, 2015). Ahmad *et al.*(2023)은 IGF-1이 근육위성세포의 증식을 효과적으로 활성화시키고 근육의 재생과 형성에 중요한 역할을 하는데, 닭의 근모세포 증식에 대한 연구에서 IGF-1의 용량이 증가함에 따라 근모세포 수 또한 증가하였음을 보고하면서 IGF-1이 세포의 증식과 재생에 중요한 기여를 한다는 것을 시사하였다.

C-피코시아닌 (C-phycoerythrin; C-PC)은 청색 미세조류인 스피루리나에서 추출된 수용성 광합성 색소 단백질로 영양 보충제로 널리 사용되고 있다(Rahim *et al.*, 2024). 미세조류는 식물에 비해 바이오매스 생산성이 5~10배가 높고, 이산화탄소 고정능력도 15배 가량 높기 때문에 미세조류를 사용하면 FBS로 인한 윤리적인 문제와 불안정한 공급을 해결하고 탄소 중립을 실현할 수 있다(Yamanaka *et al.*, 2023; Yoo *et al.*, 2020). Park *et al.*(2021a)은 C-PC는 세포 배양 시 DNA 복구, 항바이러스, 항산화 등의 작용을 수행하는데 이러한 작용을 기반으로 어류 젤라틴 분말을 사용한 세포 시트 개발 연구에서 IGF-1과 C-PC를 첨가하고 FBS를 5% 함유한 세포 시트가 FBS를 10% 함유한 세포 시트에 비해 세포의 노화를 억제하는데 더욱 효과적이었다고 보고하였다. Levi *et al.*(2022)은 이러한 혈청 사용의 감소는 배양육의 생산을 저렴한 비용으로 지속 가능하게 함으로써 산업화에 도움이 될 것이라고 보고하였다.

3. 배양육의 전망

WHO는 세계 보건을 위협하는 요인 중 하나로 항생제 내성을 거론했는데, 기존의 축산은 가축의 성장을 돕기 위해 항생제를 사용하는 반면 배양육의 경우 세포 배양 공정 중 항생제를 사용하지 않아

육류를 섭취함으로써 동반되는 항생제 잔류물과 내성을 피할 수 있고(Munteanu *et al.*, 2021), 유전자 조작에 대한 염려가 없고 지방 함량을 유동적으로 제어할 수 있기 때문에 소비자의 건강에 대한 우려로부터 자유로울 수 있다(Bryant and Barnett, 2018; Rolland *et al.*, 2020). 그러나 소비자들은 생명공학 기술을 이용한 식품에 대한 불신을 가지고 있기 때문에 천연적으로 얻은 식품이 아닌 배양육에 대한 거부감을 가지고 있는데 이는 소비자들의 구매 행동에 부정적인 결과를 가져올 수 있다(Hwang *et al.*, 2020). 인간과 같이 다양한 동식물을 섭취하는 잡식성 동물은 새로운 음식을 섭취하는 것을 꺼리는 음식 신생 공포증을 가지고 있지만, 새로운 음식이 사회 또는 본인에게 이익이 된다는 본질이 명확하다면 음식 신생 공포증을 완화하여 이를 받아들이 수 있을 것이다(Siddiqui *et al.*, 2022). 현재 배양육의 남아 있는 주과제는 대량생산이 가능한 대규모 산업 시설과 낮은 생산비용을 갖추고 배양육 조직의 크기를 실제 고기와 같이 확대시키는 것이다(Liu *et al.*, 2022). 또한 대량 증식이 가능한 새로운 세포의 추출과 개발, 세포의 생존과 지원을 돕는 비동물성 바이오잉크의 개발 등을 통해 환경에 미치는 영향을 감소시키면서 배양육 산업을 확장하고 지속가능하도록 해야 한다(Albrecht *et al.*, 2024; Kamalapuram *et al.*, 2021). 또 다른 중요한 문제는 배양육 생산 과정 중의 유전자 조작과 아직 수용되지 못한 배양육 성분의 식품 안전 인증이 위험 요소로 간주되고 있는 것이다(Zhang *et al.*, 2020). Verbeke *et al.*(2015)은 소비자들은 배양육이 영양 섭취가 부족한 개발도상국의 기아 문제를 해결할 수 있다는 글로벌적인 측면에서는 긍정적이었지만, 유전자 조작을 통한 ‘비자연스러움’과 잠재적 위험에 대한 우려로 배양육을 두려워 한다고 보고하였다. 이러한 식품 안전 인증과 같은 규제 시스템은 환경적, 사회적으로도 지속 가능한 식품에 대해 잠재적 위험을 감수해서라도 대중적 이점에 비례하여 빠르게 추진되어야 한다(Manning, 2024). 따라서 배양육이 효과적으로 상용화되기 위해서는 먼저 식품 안전 인증과 품질 관리와 같은 규제 시스템의 빠른 추진이 필요하다고 판단된다.

III. 식물성 대체육

식물성 대체육은 식물에서 단백질을 추출하여 고기와 유사한 맛, 형태, 질감으로 제조한 제품이다(You *et al.*, 2020). 식물성 단백질은 가격이 저렴하고 높은 단백질 함량을 가지고 있으며 균형 잡힌 아미노산을 제공하기 때문에 미래 단백질 자원으로써 적합하며, 밀 글루텐, 대두 단백질 등이 식물성 대체육을 제조하는데 주로 사용되고 있다(Joshi and Kumar, 2015). 1900년대 중반부터 식물성 단백질을 사용한 제조 기술이 발전하기 시작했는데 밀 글루텐을 문쳐 고기와 같은 질감을 낸 세이탄과 대두를 사용한 두부와 템페 등이 대체육으로 주로 사용되었으며 현재는 균류(버섯, 효모, 미코프로테인)와 콩류(루핀, 병아리콩 등)도 사용되고 있다(Bohrer, 2019; Zahari *et al.*, 2022). 고기와 유사한 질감과 관능적 특성을 가진 식물성 대체육을 선호하는 소비자들의 경향에 맞춰 소시지, 스테이크, 너겟, 패티 등 다양한 유형으로 개발되고 있으며 고기의 근원섬유 단백질과 같이 유화력과 보수력을 가진 대두 단백질, 완두콩 단백질, 글루텐, 감자 단백질 등을 첨가하여 제조하고 있다(Kyriakopoulou *et al.*, 2021). 또한 식물성 대체육 제조과정 중 고기와 유사한 질감, 풍미, 색깔을 나타내기 위해 결합제, 풍미향상제(지방, 오일 등), 착색제를 첨가하기도 한다(Tang *et al.*, 2024). 1955년 미국에서 대두단백질에 대한 특허가 최초로 발행되었고, 1960년 이후로 지속적으로 성장해와 현재 프랑스, 독일, 이탈리아, 영국 등이 대체육 시장을 주도하고 있으며 스페인에서는 식물성 대체육, 요거트, 우유 등의 판매량이 2021년부터 2022년 사이 약 20% 증가한 것으로 나타났다(Costa-Catala *et al.*, 2023).

1. 식물성 단백질의 원료별 특징

대두는 매년 약 3억 5천만 톤이 생산되고 있기 때문에 증가하는 인구수에 맞춰 안정적으로 단백질을 공급할 수 있는 잠재력이 큰 식물이다(Messina *et al.*, 2022). 풍부한 필수 아미노산(메티오닌 제외) 함량과 뼈 건강과 혈압 조절에 관여하는 이소플라본에 기반한 높은 영양가를 가졌으며 저렴한 가격으

로 널리 소비되고 있는데, 대두 단백질을 첨가한 식품은 꾸준히 증가하여 약 10,000개를 넘어서 실정이다(Cai et al., 2021; Zhu et al., 2020). 대두로 만든 식물성 대체육은 지방 함량과 칼로리가 낮고 콜레스테롤이 없기 때문에 체내 콜레스테롤 수치를 효과적으로 낮추고 저혈압과 비만을 예방하는 등 건강에 유익한 효과를 미친다(Bakhsh et al., 2022). Caponio et al.(2020)은 대두를 가수분해했을 때 나온 펩타이드 IAVPGEVA(Ile-Ala-Val-Pro-Gly-Glu-Val-Ala)는 혈액 내 콜레스테롤을 감소시키는 작용을 하며, 고콜레스테롤혈증 환자를 대상으로 한 달간 대두 단백질이 포함된 식단을 섭취하는 임상 실험을 진행한 결과 혈중 콜레스테롤 수치가 123 mg/mL 감소하였다고 보고하여 대두 단백질이 건강 기능성 식품으로써 적합하다고 강조하였다. Kang et al.(2022)은 닭 소시지와 대두 단백질을 첨가한 소시지를 비교한 결과 대두를 첨가한 소시지에서 대두의 수용성 단백질로 인해 유허력이 향상되어 닭 소시지보다 안정적인 구조를 보였고, 안정적인 구조로 인해 보수력과 가열수율이 증진되어 부드러운 질감을 보였기 때문에 육제품에서 대두 단백질이 고기의 역할을 대체할 수 있다고 보고하였다.

밀 글루텐은 밀가루를 물과 반죽하여 비단백질 성분과 전분을 제거하고 분리된 단백질 성분으로 높은 점탄성을 가지고 있으며 제빵, 국수, 파스타 등에 사용된다(Schopf et al., 2021; Shewry, 2019). 밀에서 단백질 저장을 담당하고 있는 밀 글루텐은 점성과 연도를 증가시키는 글루테닌과 글리아딘으로 이루어져 있어 대체육 생산 시 첨가되어 질감을 향상시키는 역할을 한다(Zhang et al., 2023). 그러나 Sun et al.(2024)은 밀 글루텐은 용해도와 보수력이 낮아 대체육 생산에 적용하기 어렵기 때문에 pH사이클링과 열처리를 결합한 전처리를 통해 밀 글루텐의 용해도와 보수력을 증가시켜 대체육의 질감을 개선시키는 방향을 제시하였다. Hou et al.(2023)은 하얗고 우수한 겔 강도를 지닌 명태 연육과 밀 글루텐, 대두 단백질을 사용하여 대체육을 생산하기 위한 실험을 진행하였는데 밀 글루텐의 함량이 증가할수록 대체육의 섬유질 구조가 명확해지고 탄력성이 증가되었으나, 너무 과도한 첨가는 탄력성과 씹힘성, 섬유질 구조를 저하시켰다고 보고하여 대체육을 생산하는데 필요한 밀 글루텐과 대두 단백질의 적절한 비율을 제공하였다.

식용 균류는 버섯이라고도 하며 기호도가 높은 질감과 맛, 풍미를 지닌 인간이 섭취할 수 있는 거대 균류로써 용도에 따라 식용과 의약품으로 사용할 수 있다(Wei et al., 2022). 전 세계적으로 섭취할 수 있는 버섯은 약 2,000종 이상이 있으며, 식용버섯을 원물 형태나 제품으로 판매하기 위해 *Agaricus spp.*, *Pleurotus spp.*, *Lentinula edodes* 및 *Ganoderma spp.* 등이 상업적으로 재배되고 있다(Mahari et al., 2020). 버섯은 주로 재배나 야생에서 수확이 가능하고 성장 속도가 빨라 높은 수확량을 가지고 있으며, 적은 공간에서도 성장할 수 있어 지속 가능성을 보장하는 식품이다(Pérez-Montes et al., 2021). 버섯에는 생리활성 물질인 단백질, 펩타이드, 비타민, 폴리사카라이드, 폴리페놀, 플라보노이드, 사포닌, 테르페노이드 등이 풍부하며 항산화, 항균, 항바이러스 기능을 가지고 있어 건강식품으로 간주되고 있다(Sun et al., 2020). Yan et al.(2023)은 버섯을 신선도를 유지하기 위한 식품 보존제, 독특한 맛과 풍미를 포함한 액상 발효 제품을 이용해 음식과 음료에 풍미 향상제로써 첨가하거나, 균사체와 고기의 아미노산과 맛이 유사한 글루탐산나트륨을 이용해 대체육으로 활용할 수 있다고 보고하였다. 버섯의 하부를 이루고 있는 균사체는 주로 단백질, 셀룰로스, 키틴으로 구성되어 있으며 풍부한 단백질 함량을 가지고 있어 가축 사료로 사용되거나 약물, 밀가루, 고기 등을 대체할 수 있다(Zhang et al., 2021). 버섯 곰팡이인 섬유형 균류로 만든 단백질이자 곰팡이 균사체인 마이코프로틴은 식재료로 쓰이는 진균이자 고단백질 공급원으로, 영국의 기업 Marlow Foods Ltd.는 1895년 Quorn이라는 브랜드로 버섯 기반 식품을 선보였으며, 현재는 마이코프로틴 기반 스테이크, 너겟, 패티 등의 제품을 판매하고 있다(Park et al., 2023b). Shahbazpour et al.(2021)은 마이코프로틴을 첨가한 소시지가 소고기 소시지보다 필수 아미노산, 불포화 지방산 함량이 높고 탄수화물, 지방 함량이 낮아 영양적으로 우수했으며, 조리 후 미생물 성장이 발견되지 않아 품질 특성을 유지할 수 있었지만, hardness, springiness, gumminess and cohesiveness가 낮아 최적의 질감을 나타낼 수 있는 첨가제에 대한 추가

연구의 필요성을 보고하였다.

2. 식물성 대체육의 가공기술

식물성 단백질은 압출, 전단 세포 기술, 오믹조리 등의 기술을 통해 고기의 섬유질 구조와 유사하게 표현할 수 있다(Jung *et al.*, 2022). 압출 및 전단 세포 기술과 오믹조리 시스템의 개략도는 Fig. 2에 나타내었다. 압출성형은 식물성 단백질을 고온에서 전단력과 압력을 가해 고기와 같은 섬유질 구조를 가지게 하는 단시간 공정으로, 단일 스크류 압출기를 사용하여 수분함량 30% 이하에서 성형하는 저

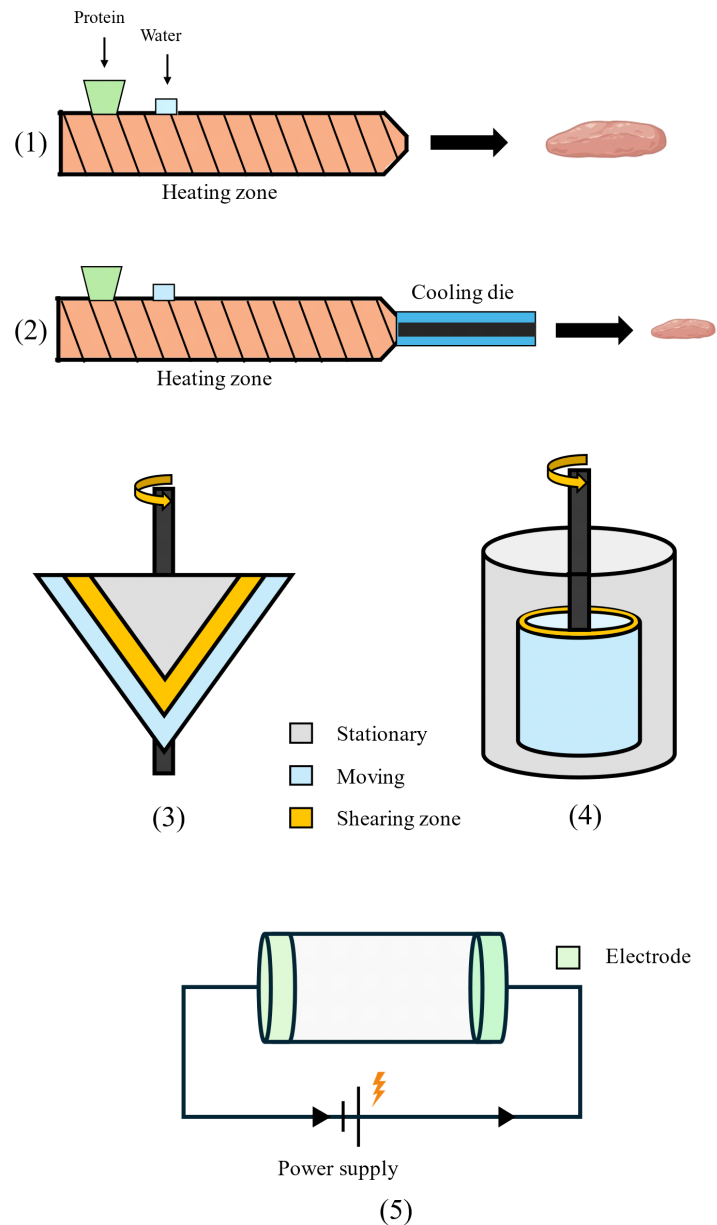


Fig. 2. Schematic diagram of (1) low moisture extrusion, (2) high moisture extrusion, (3) conical shear cell, (4) cylindrical couette cell, (5) ohmic heating.

수분 압출과 긴 냉각다이를 사용하여 수분함량 50% 이상에서 성형하는 고수분 압출이 있으며 고수분 압출은 오늘날 가장 많이 사용되고 있는 기술이다(Cho et al., 2023; De Angelis et al., 2024). Choi and Ryu(2022)는 저수분, 고수분 압출성형 식물성 대체육의 이화학적 특성을 비교한 실험에서 저수분 대체육은 내부의 공기층이 많아 스펀지 같은 구조를 나타냈고, 고수분 대체육에서는 긴 냉각다이에 의해 팽화가 방지되어 섬세한 구조를 나타낸 결과 고수분 대체육에서 씹음성, 응집성, 탄력성, 조직잔 사지수가 우수한 수치를 보여 고수분 압출이 더 활용도가 높다고 보고하였다.

전단 세포 기술은 유동 유도 구조화 개념을 기반으로 전단의 흐름을 변형시켜 섬유질 구조를 생산하는 기술로 전단 온도와 속도 조절을 통해 제품의 구조를 다양하게 생산할 수 있다(Nowacka et al., 2023). 중첩 원뿔형의 전단 셀과 중첩 원통형의 쿠에트 셀 두 종류가 존재하며, 고정된 상단 원뿔과 외부 원통, 가열되어 회전하는 하단 원뿔과 내부 원통 사이 중간에 존재하는 전단대(shearing zone)에 물과 식물성 단백질 원료를 첨가하면 열과 전단력에 의해 섬유 구조가 겹겹이 쌓이며 고기와 유사한 구조를 가지게 된다(Nowacka et al., 2023; Su et al., 2024). Krintiras et al.(2015)은 쿠에트 셀에서 대두 단백질과 밀 글루텐을 이용해 대체육을 생산하는 실험에서 공정 시간 15분, 회전속도 30RPM, 공정 온도 95℃ 조건에서 생성한 대체육은 전체적으로 반복적이고 일관된 섬유질 형성을 보였고 이방성 지수가 고기와 유사하여 쿠에트 셀 기술이 식물성 대체육의 생산에 잠재력을 보인다고 보고하였다.

Ohmic Heating은 electro conductive heating, electrical resistance heating, joule heating이라고도 불리며 식품에 전류를 통과시켜 전체적으로 균일하게 가열시키는 전자기 기반 기술이다(Varghese et al., 2014). 미국에서 우유를 저온에서 살균하는데 처음으로 사용되었으며 이후 육제품, 과일, 야채 등의 식품을 데치고, 살균하는데 사용되고 있고, 식품의 특성에 따른 가열 시간의 증가와 과열을 피할 수 있는 이점이 존재한다(Jaeger et al., 2016). 또한 Jung et al.(2022)은 온도 조절이 간단하고, 빠른 온도상승률을 가지고 있는 Ohmic Heating 기술에 압력을 더한다면 식물성 대체육의 결합력을 증진시키고 고기의 조직감을 구현할 수 있는 성형 기술로써 사용이 가능하다고 보고하였다. Chen et al.(2023)은 땅콩 단백질을 활용한 대체육 생산에 Ohmic Heating을 적용하였을 때 균일하고 높은 밀도를 가진 구조가 형성되었고, 씹음성, 응집성, 탄력성, 경도가 개선되어 질감이 향상되었으며, 지방의 풍미를 내는 휘발성 물질이 증가되어 Ohmic Heating이 식물성 대체육의 구조와 풍미를 증진시키는데 적합하다고 보고하였다. 다양한 가공 기술의 각 장단점과 이를 이용하여 식물성 대체육을 생산한 사례를 Table 2에 나타내었다.

3. 식물성 대체육의 전망

현재 식물성 대체육은 지방과 풍미가 부족하고 이취와 콩 고유의 맛이 나는 경우가 있는데 식물성 기름인 코코넛 오일과 MCT오일을 사용하면 고기와 유사한 지방 풍미를 표현할 수 있고, 식물성 향신료인 후추, 바질, 강황 등을 이용한다면 특별한 풍미를 지닌 대체육을 생산할 수 있으며, 효소 처리를 통해 콩 고유의 맛을 잠재울 수 있는데, 대체 식품 시장에서 우위를 선점하기 위해서는 이러한 다양한 접근 방식을 통해 대체육의 품질을 개선시켜 나가야 한다(Jung et al., 2024; Su et al., 2024). 식물성 대체육 제품을 판매하고 있는 해외 브랜드로는 Impossible Food, Beyond Meat가 있는데 고기와 유사한 외형과 풍미, 핏물을 재현해낸 제품으로 소비자들에게 인기가 있는 기업이며, Impossible Food는 대두 뿌리혹에서 추출한 레그헤모글로빈을 이용해 고기의 피 맛을 만들어낸 버거 패티로 식물성 대체육 시장의 지속가능성과 확장성을 제시하였다(Arora et al., 2023; Muhlhauser et al., 2021). Oh et al.(2023a)은 미국의 Eat Just Inc.는 분말 형태의 인공계란을 만들어 계란 알레르기 환자에게 새로운 선택지를 제공했고, 국내에서는 농심의 ‘베지가든’, CJ 제일제당의 ‘플랜 테이블(Plant table)’, 신세계푸드의 ‘베리미트’ 브랜드가 론칭되면서 식물성 대체육을 활용한 떡갈비, 만두, 캔햄 등을 출시하여 국내 식물성 대체육 시장의 다양성이 확대되었다고 보고했다. Blue Horizon Corporation과

Table 2. Cases of producing plant-based meat analogues using advanced processing technologies

Technology	Pros and cons of technology	Plant protein	Title	References
High-moisture extrusion processing (HMEP)	Pros: Dense fibrous structure Cons: Short shelf life due to high moisture content (Choi and Ryu, 2022)	Pea protein, Amylose, Amylopectin	Protein-amylose/amylopectin molecular interactions during high-moisture extruded texturization toward plant-based meat substitutes applications	Chen et al. (2022b)
		Soy protein	Morphology development and flow characteristics during high moisture extrusion of a plant-based meat analogue	Wittek et al. (2021)
		Pea protein, Peanut protein, Soy protein, Wheat gluten, Rice protein	Water binding ability changes of different proteins during high-moisture extrusion	Hu et al. (2024)
		Pea protein isolate (PPI), Pea protein concentrate (PPC)	Structure, texture, and sensory properties of plant-meat hybrids produced by high-moisture extrusion	Pöri et al. (2023)
		Soy protein, Pea protein, Wheat gluten	Understanding protein functionality and its impact on quality of plant-based meat analogues	Flory et al. (2023)
Low-moisture extrusion processing (LMEP), HMEP	[LMEP] Pros: Easy handling, long shelf life Cons: Expanded structure with porous layers	Soy protein, Wheat gluten	Comparison of the physicochemical properties of low and high-moisture extruded meat analog with varying moisture content	Choi and Ryu (2022)
Shear cell	Pros: Formation of fibrous structure Cons: Testing is limited to laboratory scale (Krintiras et al., 2015)	Soy protein, Pea Protein, Wheat Gluten	Effect of mixing and hydrating time on the structural properties of high-temperature shear cell products from multiple plant-based ingredients	Köllmann et al. (2024)
		Soy protein, Pea protein, Wheat gluten	Effect of fiber properties and orientation on the shear rheology and Poynting effect in meat and meat analogues	Giménez-Ribes et al. (2024)
		Soy protein	Enhancing textural properties in plant-based meat alternatives: The impact of hydrocolloids and salts on soy protein-based products	Dinani et al. (2023)
Ohmic heating	Pros: High efficiency in converting electrical energy into heat Cons: Insufficient research on producing meat analogues (Jung et al., 2022)	Soy protein, Wheat gluten	Application of ohmic cooking to produce a soy protein-based meat analogue	Jung et al. (2022)
		Peanut protein	Influence of ohmic heating on structure, texture and flavor of peanut protein isolate	Chen et al. (2023)
Freeze structuring	Pros: Unique fibrous structure Cons: High production costs due to high energy consumption (Du et al., 2023)	Pea protein, Wheat gluten	Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites. Journal of food engineering	Yuliarti et al. (2021)

Table 2. Continued

Technology	Pros and cons of technology	Plant protein	Title	References
Fiber-spinning	Pros: Micron-level protein fiber formation Cons: High requirements for protein solutions, heavy contamination (Wang <i>et al.</i> , 2023)	Soy protein	Developing soy protein-based analog meat with improved nutritional, physicochemical, and structural properties	Joshi <i>et al.</i> (2023)
	Pros: Control of fiber structure arrangement and distribution of adipose tissue	Pea protein	Rheology and extrusion testing to develop printable, print process-optimized formulations	Wang <i>et al.</i> (2022)
3D Printing	Cons: Plant-based meat analog inks are difficult to extrude, making it difficult to mimic the texture of animal meat	Mung bean protein, Wheat gluten	Improving the functionality of mung bean protein, wheat gluten mixtures, and adding L-cysteine to improve the quality and sensory characteristics of analog meat	Chao <i>et al.</i> (2024) Wen <i>et al.</i> (2023)

Boston Consulting Group에 따르면 대체 식품 시장은 2040년 전까지 2,900억 달러에 도달할 것이며, 대체 식품 시장이 성장하기 위해서는 고기와 유사한 가격과 관능적 특성을 갖춘 대체육을 생산하는 것이 관건이다(Maningat *et al.*, 2022). 현재 다양한 식물성 대체육이 미래 단백질 자원으로 성공하고 있으며 윤리적, 종교적 신념으로 고기를 섭취하지 않는 소비자에게까지 시장을 확대할 수 있어 미래 단백질 자원으로써의 수요 증가가 기대된다. 버섯은 필수 아미노산, 필수 지방산, 비타민, 미네랄 등 영양소가 풍부한 단백질 공급원으로써, 자실체보다 더 빠른 단백질 생산이 가능한 균사체를 활용한 대체육은 식품 산업에서의 규모가 점점 확장되고 있으며, 기존의 식물성 대체육에 사용되는 원료를 대체하거나 대량 생산이 가능한 식물성 단백질로써 주목받고 있다(Strong *et al.*, 2022). 빠른 단백질 생산이 가능한 균사체를 이용해 식물성 대체육을 개발한다면 고기와 유사한 맛과 질감을 가진 미래 단백질 자원 생산을 통해 미래 식품 안보 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다. Melville *et al.*(2023)은 물 부족, 온실가스 배출 등의 환경적 문제와 당뇨병, 심혈관 질환 등의 건강적 문제를 고려해 지속 가능한 식품으로써 식물성 대체육 제품 시장이 크게 성장할 것이라고 보고하였다.

IV. 미래 단백질 자원의 과제

미국에서는 이전에 사용한적 없는 새로운 성분이 식품 생산에 첨가되기 위해서는 Food and Drug Administration(FDA)의 Generally Recognised as Safe(GRAS)로 평가 및 승인이 필요하기 때문에 식물성 버거 패티에 사용된 대두 뿌리혹의 레그헤모글로빈도 출시 전 GRAS 평가 및 승인을 받았다(Kołodziejczak *et al.*, 2021). 배양육의 경우 United States Department of Agriculture-Food Safety and Inspection Service(USDA-FSIS)가 라벨링 및 가공 모니터링 과정을, FDA가 세포 또는 조직을 수확하는 과정을 관리하면서 식품안전에 대해 규제하고 있다(Kołodziejczak *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2023). 국내에서는 제품에 고기가 함유되지 않아도 “식물성” 또는 “비건”이라는 표현을 붙이면 식물성 대체육이라고 표기할 수 있었기 때문에 한우자조금관리위원회(Hanwoo Board)에서 “육”이라는 표현의 허용 금지를 요구하는 성명을 발표하였으며, 이에 대해 Ministry of Food and Drug Safety(MFDS)는 2023년에 “육”이라는 표현을 사용하지 못하도록 대체 식품의 표시 가이드 라인을 제정하였다(MFDS,

2023; Park *et al.*, 2023b). 대체육의 상용화에 있어 기존 축산업 종사자들이 배양육과 식물성 대체육 제품에 “육”이라는 용어의 사용을 금지하고 있는데, 2018년에 들어서 미국, 유럽에서는 식물성 대체육 제품에 고기가 첨가되어 있다고 오해할 수 있는 “스테이크”, “소시지”와 같은 표현을 사용하는 것이 금지되었기 때문에 대체육을 연구, 상용화하기 위해서는 축산업 종사자들과의 원만한 합의를 이뤄야 할 것이다(Lee *et al.*, 2023).

대체육을 생산하는데 첨가할 단백질 원료의 선택은 완제품의 관능적 특성에 영향을 미치고 이는 결국 고기와 유사한 외형, 질감, 풍미를 원하는 소비자의 수용도와 직결되기 때문에 원료의 선택은 중요한 고려사항이다(Fiorentini *et al.*, 2020). 그러나 식물성 제품에 주로 사용되고 있는 대두와 밀은 알레르기 반응을 일으키고, 밀 글루텐은 글루텐 불내증이 있는 사람에게 건강에 위협을 가하기 때문에 대두와 글루텐이 함유된 제품은 소비자의 선호도를 낮출 수 있다(Szpicer *et al.*, 2022). 또한 지구온난화로 탄소를 절감할 수 있는 친환경 소재에 관심을 기울이고 있는 가운데, 버섯 균사체는 대체육과 가죽, 플라스틱 등 다양한 산업소재를 대체할 수 있는 효과적인 친환경 소재로 활용 가치가 상승하고 있지만 아직 생산 과정이 복잡하고 생산 비용이 높기 때문에 산업적으로 사용되기 위해서는 가공 기술에 대한 추가 연구가 필요한 실정이다(Im *et al.*, 2023).

V. 결 론

전 세계의 인구가 계속해서 증가함에 따라 동물성 식품의 수요도 증가하고 있지만 가축자원은 인구 증가 수에 비해 제한적으로 생산되고, 지구온난화로 기후 위기가 대두됨에 따라 미래의 식량 부족은 필연적인 것으로 전망된다. 이에 지속 가능한 식량으로써 식육의 부족을 대체할 수 있는 배양육, 식물성 대체육이 미래 단백질 자원으로 주목받고 있다. 미래 단백질 자원을 기존 고기의 관능적 특성(질감, 풍미, 외형 등)과 유사하게 표현하기 위해서는 원료와 가공기술의 선택이 중요하다. 원료의 가격이 경제적이면서도 공급이 원만해야 하고, 대량생산이 가능할 때 미래 단백질 자원의 산업화가 가능해지고 지속 가능성이 보장된다. 그러나 아직 대체육의 관능적 특성과 안전성에 대한 우려가 소비자의 요구를 만족시키지 못하는 실정이기에 가공 방법에 대한 연구와 원료의 독성 물질, 알레르겐 물질 등 안전성에 대한 추가 연구의 필요성이 대체육의 수준을 향상시키기 위해 요구되고 있다. 소비자의 새로운 기술, 새로운 음식에 대한 거부감과 잠재적 위험에 대한 우려는 대체육의 환경적, 건강적 이점과 지속 가능성에 대한 홍보를 통해 완화시켜 소비자 수용도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

VI. 참고문헌

1. Aguilar-Toalá JE, Cruz-Monterrosa RG, Liceaga AM. 2022. Beyond human nutrition of edible insects: Health benefits and safety aspects. *Insects* 13:1007.
2. Ahmad SS, Chun HJ, Ahmad K, Shaikh S, Lim JH, Ali S, Han SS, Hur SJ, Shon JH, Lee EJ, Choi IH. 2023. The roles of growth factors and hormones in the regulation of muscle satellite cells for cultured meat production. *Journal of Animal Science and Technology* 65:16.
3. Albrecht FB, Ahlfeld T, Klatt A, Heine S, Gelinsky M, Kluger PJ. 2024. Biofabrication's contribution to the evolution of cultured meat. *Advanced healthcare materials* 2304058.
4. Allan SJ, De Bank PA, Ellis, MJ. 2019. Bioprocess design considerations for cultured meat production with a focus on the expansion bioreactor. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3:44.
5. Andreassen RC, Pedersen ME, Kristoffersen KA, Rønning SB. 2020. Screening of by-products from the food industry as growth promoting agents in serum-free media for skeletal muscle cell culture. *Food & Function*, 11:2477-2488.

6. Arora S, Kataria P, Nautiyal M, Tuteja I, Sharma V, Ahmad F, Haque S, Shahwan M, Capanoglu E, Vashishth R, Gupta AK. 2023. Comprehensive review on the role of plant protein as a possible meat analogue: Framing the future of meat. *ACS Omega* 8:23305-23319.
7. Arshad MS, Javed M, Sohaib M, Saeed F, Imran A, Anjad Z. 2017. Tissue engineering approaches to develop cultured meat from cells: A mini review. *Cogent Food & Agriculture* 3:1320814.
8. Bakhsh A, Lee EY, Ncho CM, Kim CJ, Son YM, Hwang YH, Joo ST. 2022. Quality characteristics of meat analogs through the incorporation of textured vegetable protein: A systematic review. *Foods* 11:1242.
9. Batish I, Zarei M, Nitin N, Ovissipour R. 2022. Evaluating the potential of marine invertebrate and insect protein hydrolysates to reduce fetal bovine serum in cell culture media for cultivated fish production. *Biomolecules* 12:1697.
10. Bhat ZF, Fayaz H. 2011. Prospectus of cultured meat: Advancing meat alternatives. *Journal of Food Science and Technology* 48:125-140.
11. Bogliotti YS, Wu J, Vilarino M, Okamura D, Soto DA, Zhong C, Sakurai M, Sampaio RV, Suzuki K, Belmonte JCI, Ross PJ. 2018. Efficient derivation of stable primed pluripotent embryonic stem cells from bovine blastocysts. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115:2090-2095.
12. Bohrer BM. 2019. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness* 8:320-329.
13. Bryant C, Barnett J. 2018. Consumer acceptance of cultured meat: A systematic review. *Meat Science* 143:8-17.
14. Bryant C, Barnett J. 2020. Consumer acceptance of cultured meat: An updated review (2018-2020). *Applied Sciences* 10:5201.
15. Cai JS, Feng JY, Ni ZJ, Ma RH, Thakur K, Wang S, Hu F, Zhang JG, Wei ZJ. 2021. An update on the nutritional, functional, sensory characteristics of soy products, and applications of new processing strategies. *Trends in Food Science & Technology* 112:676-689.
16. Caponio GR, Wang DQH, Di Ciaula A, De Angelis M, Portincasa P. 2020. Regulation of cholesterol metabolism by bioactive components of soy proteins: Novel translational evidence. *International Journal of Molecular Sciences* 22:227.
17. Carvalho P, Spataru C. 2023. Gaps in the governance of floods, droughts, and heatwaves in the United Kingdom. *Frontiers in Earth Science* 11:1124166.
18. Celebi-Birand D, Genc K, Agun I, Erikci E, Akcali KC, Kiran F. 2023. Microbiota-derived postbiotics enhance the proliferative effects of growth factors on satellite cells in cultivated meat applications. *Sustainability* 15:16164.
19. Chao C, Park HJ, Kim HW. 2024. Effect of l-cysteine on functional properties and fibrous structure formation of 3D-printed meat analogs from plant-based proteins. *Food Chemistry* 439:137972.
20. Chen L, Guttieres D, Koenigsberg A, Barone PW, Sinskey AJ, Springs SL. 2022a. Large-scale cultured meat production: Trends, challenges and promising biomanufacturing technologies. *Biomaterials* 280:121274.
21. Chen Q, Zhang J, Zhang Y, Kaplan DL, Wang Q. 2022b. Protein-amylose/amylopectin molecular interactions during high-moisture extruded texturization toward plant-based meat substitutes applications. *Food Hydrocolloids* 127:107559.

22. Chen Y, Ye S, Liu L, Ren Y, Li Q, Zhang C, Qian JY. 2023. Influence of ohmic heating on structure, texture and flavor of peanut protein isolate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 90:103512.
23. Cho SJ. 2023. Materials and technologies for manufacturing alternative protein foods. *Food Science and Industry* 56:175-185.
24. Cho SY, Ryu GH. 2022. Quality characteristics of plant-based proteins used in meat analogs. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 51:375-380.
25. Choi HW, Ryu GH. 2022. Comparison of the physicochemical properties of low and high-moisture extruded meat analog with varying moisture content. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 51:162-169.
26. Costa-Catala J, Toro-Funes N, Comas-Basté O, Hernández-Macias S, Sánchez-Pérez S, Latorre-Moratalla ML, Veciana-Nogués MT, Castell-Garralda V, Vidal-Carou MC. 2023. Comparative assessment of the nutritional profile of meat products and their plant-based analogues. *Nutrients* 15:2807.
27. De Angelis D, van der Goot AJ, Pasqualone A, Summo C. 2024. Advancements in texturization processes for the development of plant-based meat analogues: A review. *Current Opinion in Food Science* 101192.
28. Dinani ST, Zhang Y, Vardhanabhuti B, van der Goot AJ. 2023. Enhancing textural properties in plant-based meat alternatives: The impact of hydrocolloids and salts on soy protein-based products. *Current Research in Food Science* 7:00571.
29. Dong N, Xue C, Yang Y, Chang Y, Wang Y, Guo H, Liu Y, Wang Y. 2023. *Auxenochlorella pyrenoidosa* extract supplementation replacing fetal bovine serum for *Carassius auratus* muscle cell culture under low-serum conditions. *Food Research International* 164:112438.
30. Du Q, Tu M, Liu J, Ding Y, Zeng X, Pan D. 2023. Plant-based meat analogs and fat substitutes, structuring technology and protein digestion: A review. *Food Research International*, 170, 112959.
31. Fiorentini M, Kinchla AJ, Nolden AA. 2020. Role of sensory evaluation in consumer acceptance of plant-based meat analogs and meat extenders: A scoping review. *Foods* 9:1334.
32. Flaibam B, da Silva MF, de Mélo AHF, Carvalho PH, Galland F, Pacheco MTB, Goldbeck R. 2024. Non-animal protein hydrolysates from agro-industrial wastes: A prospect of alternative inputs for cultured meat. *Food Chemistry* 443:138515.
33. Flint M, Bowles S, Lynn A, Paxman JR. 2023. Novel plant-based meat alternatives: Future opportunities and health considerations. *Proceedings of the Nutrition Society* 82:370-385.
34. Flory J, Xiao R, Li Y, Dogan H, Talavera MJ, Alavi S. 2023. Understanding protein functionality and its impact on quality of plant-based meat analogues. *Foods* 12:3232.
35. Ghosh J, Haraguchi Y, Asahi T, Nakao Y, Shimizu T. 2023. Muscle cell proliferation using water-soluble extract from nitrogen-fixing cyanobacteria *Anabaena* sp. PCC 7120 for sustainable cultured meat production. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 682:316-324.
36. Giménez-Ribes G, Oostendorp M, van der Goot AJ, van der Linden E, Habibi M. 2024. Effect of fiber properties and orientation on the shear rheology and Poynting effect in meat and meat analogues. *Food Hydrocolloids* 149:109509.
37. Godschalk-Broers L, Sala G, Scholten E. 2022. Meat analogues: Relating structure to texture and sensory perception. *Foods* 11:2227.
38. González N, Marquès M, Nadal M, Domingo JL. 2020. Meat consumption: Which are the current global risks? A review of recent (2010-2020) evidences. *Food Research International* 137:109341.

39. Hadi J, Brightwell G. 2021. Safety of alternative proteins: Technological, environmental and regulatory aspects of cultured meat, plant-based meat, insect protein and single-cell protein. *Foods* 10:1226.
40. Hall F, Johnson PE, Liceaga A. 2018. Effect of enzymatic hydrolysis on bioactive properties and allergenicity of cricket (*Gryllobates sigillatus*) protein. *Food chemistry* 262:39-47.
41. Haraguchi Y, Okamoto Y, Shimizu T. 2022. A circular cell culture system using microalgae and mammalian myoblasts for the production of sustainable cultured meat. *Archives of Microbiology* 204:615.
42. Hou Y, Xia S, Ma C, Xue C, Jiang X. 2023. Effects of the soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical and structural properties of Alaska pollock surimi-based meat analogs by high moisture extrusion. *Food Research International* 173:113469.
43. Hu A, Li T, Zhou H, Guo F, Wang Q, Zhang J. 2024. Water binding ability changes of different proteins during high-moisture extrusion. *Food Hydrocolloids* 152:109935.
44. Hwang JH, You JH, Moon JH, Jeong JS. 2020. Factors affecting consumers' alternative meats buying intentions: Plant-based meat alternative and cultured meat. *Sustainability* 12:5662.
45. Im HS, You GS, Jung YH, Shin HJ. 2023. Recent research trends in mushroom mycelium-based materials. *KSBB Journal* 38:153-161.
46. Jaeger H, Roth A, Toepfl S, Holzhauser T, Engel KH, Knorr D, Rudi FV, Bandick N, Kulling S, Heinz V, Steinberg P. 2016. Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science & Technology* 55:84-97.
47. Joshi K, Shabani E, Kabir SF, Zhou H, McClements DJ, Park JH. 2023. Optimizing protein fiber spinning to develop plant-based meat analogs via rheological and physicochemical analyses. *Foods* 12:3161.
48. Joshi VK, Kumar S. 2015. Meat analogues: Plant based alternatives to meat products-A review. *International Journal of Food and Fermentation Technology* 5:107-119.
49. Jung AH, Hwang JH, Jun SJ, Park SH. 2022. Application of ohmic cooking to produce a soy protein-based meat analogue. *LWT* 160:113271.
50. Jung M, Lee Y, Han SO, Hyeon JE. 2024. Advancements in sustainable plant-based alternatives: Exploring proteins, fats, and manufacturing challenges in alternative meat production. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 34:994.
51. Kamalapuram SK, Handral H, Choudhury D. 2021. Cultured meat prospects for a billion!. *Foods* 10:2922.
52. Kang KM, Lee SH, Kim HY. 2022. Effects of using soybean protein emulsion as a meat substitute for chicken breast on physicochemical properties of Vienna sausage. *Food Science of Animal Resources* 42:73.
53. Kim A, Öström Å, Mihnea M, Niimi J. 2024. Consumers' attachment to meat: Association between sensory properties and preferences for plant-based meat alternatives. *Food Quality and Preference* 116:105134.
54. Kim CH, Lee HJ, Jung DY, Kim MS, Jung HY, Hong HS, Choi YS, Yong HI, Jo C. 2023a. Evaluation of fermented soybean meal and edible insect hydrolysates as potential serum replacement in pig muscle stem cell culture. *Food Bioscience* 54:102923.

55. Kim YA, Oh SH, Park GT, Park SH, Park YH, Choi HS, Kim MJ, Choi J. 2023b. Characteristics of bovine muscle satellite cell from different breeds for efficient production of cultured meat. *Journal of Animal Science and Technology*.
56. Kolodziejczak K, Onopiuk A, Szpicer A, Poltorak A. 2021. Meat analogues in the perspective of recent scientific research: A review. *Foods* 11:105.
57. Köllmann N, Sivakul K, Zhang L, van der Goot AJ. 2024. Effect of mixing and hydrating time on the structural properties of high-temperature shear cell products from multiple plant-based ingredients. *Journal of Food Engineering* 369:111911.
58. Kombolo Ngah M, Chriki S, Ellies-Oury MP, Liu J, Hocquette JF. 2023. Consumer perception of “artificial meat” in the educated young and urban population of Africa. *Frontiers in Nutrition* 10:1127655.
59. Krintiras GA, Göbel J, van der Goot AJ, Stefanidis GD. 2015. Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a Couette Cell. *Journal of Food Engineering* 160:34-41.
60. Kulus M, Jankowski M, Kranc W, Golkar Narenji A, Farzaneh M, Dzięgiel P, Zabel M, Antosik P, Bukowska D, Mozdziak P, Kempisty B. 2023. Bioreactors, scaffolds and microcarriers and in vitro meat production: Current obstacles and potential solutions. *Frontiers in Nutrition* 10:1225233.
61. Kurek MA, Onopiuk A, Pogorzelska-Nowicka E, Szpicer A, Zalewska M, Póltorak A. 2022. Novel protein sources for applications in meat-alternative products: Insight and challenges. *Foods* 11:957.
62. Kyriakopoulou K, Keppler JK, van Der Goot AJ. 2021. Functionality of ingredients and additives in plant-based meat analogues. *Foods* 10:600.
63. Lee CC, Zeng M, Luo K. 2024a. How does climate change affect food security? Evidence from China. *Environmental Impact Assessment Review* 104:107324.
64. Lee DY, Han DH, Lee SY, Yun SH, Lee JH, Mariano Jr E, Choi YW, Kim JS, Park JM, Hur SJ. 2024b. Preliminary study on comparison of egg extraction methods for development of fetal bovine serum substitutes in cultured meat. *Food Chemistry: X* 21:101202.
65. Lee HJ, Yong HI, Kim M, Choi YS, Jo C. 2020. Status of meat alternatives and their potential role in the future meat market: A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 33:1533.
66. Lee SY, Lee DY, Jeong JW, Kim JH, Yun SH, Mariano Jr E, Lee JH, Park SK, Jo C, Hur SJ. 2023. Current technologies, regulation, and future perspective of animal product analogs: A review. *Animal Bioscience* 36:1465.
67. Lee SY, Yun SH, Jeong JW, Kim JH, Kim HW, Choi JS, Kim GD, Joo ST, Choi, IH, Hur SJ. 2022. Review of the current research on fetal bovine serum and the development of cultured meat. *Food Science of Animal Resources* 42:775.
68. Levi S, Yen FC, Baruch L, Machluf M. 2022. Scaffolding technologies for the engineering of cultured meat: Towards a safe, sustainable, and scalable production. *Trends in Food Science & Technology* 126:13-25.
69. Lim T, Chang H, Saad MK, Joyce CM, Park B, O’Beirne SX, Cohen MA, Kaplan DL. 2024. Development of serum-reduced medium for mackerel muscle cell line cultivation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*.

70. Liu Y, Wang R, Ding S, Deng L, Zhang Y, Li J, Shi Z, Wu Z, Liang K, Yan X, Liu W, Du Y. 2022. Engineered meatballs via scalable skeletal muscle cell expansion and modular micro-tissue assembly using porous gelatin micro-carriers. *Biomaterials* 287:121615.
71. Mahari WAW, Peng W, Nam WL, Yang H, Lee XY, Lee YK, Liew RK, Ma NL, Mohammad A, Sonne C, Le QV, Show PL, Chen WH, Lam SS. 2020. A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation industry. *Journal of Hazardous Materials* 400:123156.
72. Maningat, CC, Jeradechachai T, Buttshaw MR. 2022. Textured wheat and pea proteins for meat alternative applications. *Cereal Chemistry* 99:37-66.
73. Manning L. 2024. Responsible innovation: Mitigating the food safety aspects of cultured meat production. *Journal of Food Science* 89:4638-4659.
74. Martins B, Bister A, Dohmen RG, Gouveia MA., Hueber R, Melzener L, Messmer T, Papadopoulos J, Pimenta J, Raina D, Schaecken L, Shirley S, Bouchet BP, Flack JE. 2024. Advances and challenges in cell biology for cultured meat. *Annual Review of Animal Biosciences*, 12:345-368.
75. Mejrhit N, Azdad O, Chda A, El Kabbaoui M, Bousfiha A, Bencheikh R, Tazi A, Aarab L. 2017. Evaluation of the sensitivity of Moroccans to shrimp tropomyosin and effect of heating and enzymatic treatments. *Food and Agricultural Immunology* 28:969-980.
76. Melville H, Shahid M, Gaines A, McKenzie BL, Alessandrini R, Trieu K, Alessandrini R, Trieu K, Wu JHY, Rosewarne E, Coyle DH. 2023. The nutritional profile of plant-based meat analogues available for sale in Australia. *Nutrition & Dietetics* 80:211-222.
77. Messina M, Sievenpiper JL, Williamson P, Kiel J, Erdman Jr JW. 2022. Perspective: Soy-based meat and dairy alternatives, despite classification as ultra-processed foods, deliver high-quality nutrition on par with unprocessed or minimally processed animal-based counterparts. *Advances in Nutrition* 13:726-738.
78. Milani TMG, Conti AC. 2024. Textured soy protein with meat odor as an ingredient for improving the sensory quality of meat analog and soy burger. *Journal of Food Science and Technology* 61:743-752.
79. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Alternative Foods Labeling Guidelines (complainant manual). (manual -1319-01). Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=15387&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1 Accessed at 2023
80. Mishal S, Kanchan S, Bhushette P, Sonawane SK. 2022. Development of plant based meat analogue. *Food Science and Applied Biotechnology* 5:45-53.
81. Muhlhauser P, Drews M, Reitz R. 2021. Grilling meataphors: Impossible foods and posthumanism in the meat aisle. *Humanities* 10:49.
82. Muluneh MG. 2021. Impact of climate change on biodiversity and food security: A global perspective—a review article. *Agriculture & Food Security* 10:1-25.
83. Munteanu C, Mireşan V, Răducu C, Ihuţ A, Uiuu P, Pop D, Neacşu A, Cenariu M, Groza I. 2021. Can cultured meat be an alternative to farm animal production for a sustainable and healthier lifestyle?. *Frontiers in Nutrition* 8:749298.

84. Nikkhah A, Rohani A, Zarei M, Kulkarni A, Batarseh FA, Blackstone NT, Ovissipour R. 2023. Toward sustainable culture media: Using artificial intelligence to optimize reduced-serum formulations for cultivated meat. *Science of The Total Environment* 894:164988.
85. Nowacka M, Trusinska M, Chraniuk P, Drudi F, Lukasiewicz J, Nguyen NP, Przybyszewska A, Pobiega K, Tappi S, Tylewicz U, Rybak K, Wiktor A. 2023. Developments in plant proteins production for meat and fish analogues. *Molecules* 28:2966.
86. Nyangena DN, Mutungi C, Imathiu S, Kinyuru J, Affognon H, Ekesi S, Nakimbugwe D, Fiaboe KK. 2020. Effects of traditional processing techniques on the nutritional and microbiological quality of four edible insect species used for food and feed in East Africa. *Foods* 9:574.
87. Oh J, Park C, Ahn D, Byun J, Jung SP. 2023a. Veganomics: Current status and challenges. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 45:296-310.
88. Oh SH, Kim YA, Choi NY, Kim HY, Choi JS. 2022. Effect of chicken serum and horse serum on proliferation and differentiation of chicken muscle satellite cells. *Resources Science Research* 4:96-104.
89. Oh SH, Park SH, Park YH, Kim YA, Park GT, Cui XH, Kim KS, Joo ST, Hur SJ, Kim GD, Choi JS. 2023b. Culturing characteristics of Hanwoo myosatellite cells and C2C12 cells incubated at 37°C and 39°C for cultured meat. *Journal of Animal Science and Technology* 65:664.
90. Okamoto Y, Haraguchi Y, Yoshida A, Takahashi H, Yamanaka K, Sawamura N, Asahi T, Shimizu T. 2022. Proliferation and differentiation of primary bovine myoblasts using *Chlorella vulgaris* extract for sustainable production of cultured meat. *Biotechnology Progress* 38:e3239.
91. Park S, Sim H, Yu S, Han H, Jung, SP. 2023b. Alternative meat as future food, seeking a sustainable future. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 45:491-505.
92. Park SH, Jung SW, Choi MH, Lee ML, Choi BG, Koh WG, Lee SM, Hong JK. 2021a. Gelatin MAGIC powder as nutrient-delivering 3D spacer for growing cell sheets into cost-effective cultured meat. *Biomaterials* 278:121155.
93. Park SH, Jung SW, Heo JW, Koh WG, Lee SM, Hong JK. 2021b. Chitosan/cellulose-based porous nanofilm delivering C-phycoerythrin: A novel platform for the production of cost-effective cultured meat. *ACS Applied Materials & Interfaces* 13:32193-32204.
94. Park SH, Lee H, Jung SW, Choi BG, Lee ML, Jung SY, Lee ST, Lee SM, Hong JK. 2023a. Cost-effective culture medium for cell-based future foods. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 11:13868-13876.
95. Perez-Montes A, Rangel-Vargas E, Lorenzo JM, Romero L, Santos EM. 2021. Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products. *Current Opinion in Food Science* 37:118-124.
96. Population Reference Bureau. 2020 world population data sheet. Available from: <https://www.prb.org/2020-world-population-data-sheet/> Accessed at 2020.
97. Pöri P, Aisala H, Liu J, Lille M, Sozer N. 2023. Structure, texture, and sensory properties of plant-meat hybrids produced by high-moisture extrusion. *LWT* 173:114345.
98. Post MJ. 2012. Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science* 92:297-301.
99. Prosekov AY, Ivanova SA. 2016. Providing food security in the existing tendencies of population growth and political and economic instability in the world. *Foods and Raw Materials* 4:201-211.

100. Rahim A, Salhi S, El Khelfaoui N, Badaoui B, Essamadi A, El Amiri B. 2024. Effect of C-phycocyanin purified from *Spirulina platensis* on cooled ram semen quality and *in vivo* fertility. *Theriogenology* 215:234-240.
101. Reis GG, Heidemann MS, Borini FM, Molento CFM. 2020. Livestock value chain in transition: Cultivated (cell-based) meat and the need for breakthrough capabilities. *Technology in Society* 62:101286.
102. 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.
103. Rolland NC, Markus CR, Post MJ. 2020. The effect of information content on acceptance of cultured meat in a tasting context. *PLoS One* 15:e0231176.
104. Schopf M, Wehrli MC, Becker T, Jekle M, Scherf KA. 2021. Fundamental characterization of wheat gluten. *European Food Research and Technology* 247:985-997.
105. Shewry P. 2019. What is gluten: Why is it special?. *Frontiers in Nutrition* 6:101.
106. Siddiqui SA, Zannou O, Karim I, Kasmiahi Awad NM, Go³aszewski J, Heinz V, Smetana S. 2022. Avoiding food neophobia and increasing consumer acceptance of new food trends: A decade of research. *Sustainability* 14:10391.
107. Sim EM, Park KH, Lee DG, Shin SH. 2022. Effect of the consumption value of vegetable meat on positive attitudes and purchase intentions: Focusing on the effect of controlling price sensitivity. *Culinary Science & Hospitality Research* 28:55-68.
108. Singh M, Trivedi N, Enamala MK, Kuppam C, Parikh P, Nikolova MP, Chavali M. 2021. Plant-based meat analogue (PBMA) as a sustainable food: A concise review. *European Food Research and Technology* 247:2499-2526.
109. Skrivergaard S, Rasmussen MK, Sahebkhhtari N, Young JF, Therkildsen M. 2023. Satellite cells sourced from bull calves and dairy cows differs in proliferative and myogenic capacity: Implications for cultivated meat. *Food Research International* 173:113217.
110. So BC. 2023. Practical legal alternative for the climate crisis. *Korean Journal of International and Comparative Law* 68:99-134.
111. Stout AJ, Mirliani AB, Rittenberg ML, Shub M, White EC, Yuen Jr JS, Kaplan DL. 2022. Simple and effective serum-free medium for sustained expansion of bovine satellite cells for cell cultured meat. *Communications Biology* 5:466.
112. Stout AJ, Rittenberg ML, Shub M, Saad MK, Mirliani AB, Dolgin J, Kaplan DL. 2023. A Beefy-R culture medium: Replacing albumin with rapeseed protein isolates. *Biomaterials* 296:122092.
113. Strong PJ, Self R, Allikian K, Szewczyk E, Speight R, O'Hara I, Harrison MD. 2022. Filamentous fungi for future functional food and feed. *Current Opinion in Biotechnology* 76:102729.
114. Su T, Le B, Zhang W, Bak KH, Soladoye PO, Zhao Z, Zhao Y, Fu Y, Wu W. 2024. Technological challenges and future perspectives of plant-based meat analogues: From the viewpoint of proteins. *Food Research International* 114351.
115. Sun C, Ge J, He J, Gan R, Fang Y. 2021. Processing, quality, safety, and acceptance of meat analogue products. *Engineering* 7:674-678.

116. Sun Y, Dong M, Bai J, Liu X, Yang X, Duan X. 2024. Preparation and properties of high-soluble wheat gluten protein-based meat analogues. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 104:42-50.
117. Sun Y, Zhang M, Fang Z. 2020. Efficient physical extraction of active constituents from edible fungi and their potential bioactivities: A review. *Trends in Food Science & Technology* 105:468-482.
118. Szpicer A, Onopiuk A, Barczak M, Kurek M. 2022. The optimization of a gluten-free and soy-free plant-based meat analogue recipe enriched with anthocyanins microcapsules. *LWT* 168:113849.
119. Tang M, Miri T, Soltani F, Onyeaka H, Al-Sharify ZT. 2024. Life cycle assessment of plant-based vs. beef burgers: A case study in the UK. *Sustainability* 16:4417.
120. Teng TS, Lee JIL, Chen WN. 2023. Ultrafiltrated extracts of fermented okara as a possible serum alternative for cell culturing: Potential in cultivated meat production. *ACS Food Science & Technology* 3:699-709.
121. To KV, Comer CC, O'Keefe SF, Lahne J. 2024. A taste of cell-cultured meat: A scoping review. *Frontiers in Nutrition* 11:1332765.
122. Trinidad KR, Ashizawa R, Nikkhah A, Semper C, Casolaro C, Kaplan DL, Savchenko A, Blackstone NT. 2023. Environmental life cycle assessment of recombinant growth factor production for cultivated meat applications. *Journal of Cleaner Production* 419:138153.
123. Varghese KS, Pandey MC, Radhakrishna K, Bawa AS. 2014. Technology, applications and modelling of ohmic heating: A review. *Journal of Food Science and Technology* 51:2304-2317.
124. Venkatesan M, Semper C, Skrivergaard S, Di Leo R, Mesa N, Rasmussen MK, Young JF, Therkildsen M, Stogios PJ, Savchenko A. 2022. Recombinant production of growth factors for application in cell culture. *Iscience* 25.
125. Vignesh K, Yadav DK, Wadikar DD, Semwal AD. 2024. Exploring sustenance: Cereal legume combinations for vegan meat development. *Sustainable Food Technology* 2:32-47.
126. Vural Y, Ferriday D, Rogers PJ. 2023. Consumers' attitudes towards alternatives to conventional meat products: Expectations about taste and satisfaction, and the role of disgust. *Appetite* 181:106394.
127. Wali ME, Karinen H, Rønning SB, Skrivergaard S, Dorca-Preda T, Rasmussen MK, Young JF, Therkildsen M, Mogensen L, Ryyänen T, Tuomisto HL. 2024. Life cycle assessment of culture media with alternative compositions for cultured meat production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 1-17.
128. Wang T, Kaur L, Furuhashi Y, Aoyama H, Singh J. 2022. 3D printing of textured soft hybrid meat analogues. *Foods* 11:478.
129. Wang Y, Cai W, Li L, Gao Y, Lai KH. 2023. Recent advances in the processing and manufacturing of plant-based meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 71:1276-1290.
130. Wei Y, Li L, Liu Y, Xiang S, Zhang H, Yi L, Shang Y, Xu W. 2022. Identification techniques and detection methods of edible fungi species. *Food Chemistry* 374:131803.
131. Wen Y, Chao C, Che QT, Kim HW, Park HJ. 2023. Development of plant-based meat analogs using 3D printing: Status and opportunities. *Trends in Food Science & Technology* 132:76-92.

132. WHO. 2023. Red and processed meat in the context of health and the environment: Many shades of red and green: Information brief. (No. ISBN: 978-92-4-007482-8). Nutrition and Food Safety (NFS).
133. Wittek P, Ellwanger F, Karbstein HP, Emin MA. 2021. Morphology development and flow characteristics during high moisture extrusion of a plant-based meat analogue. *Foods* 10:1753.
134. Xie Y, Cai L, Zhou G, Li C. 2024. Comparison of nutritional profile between plant-based meat analogues and real meat: A review focusing on ingredients, nutrient contents, bioavailability, and health impacts. *Food Research International* 114460.
135. Yamanaka K, Haraguchi Y, Takahashi H, Kawashima I, Shimizu T. 2023. Development of serum-free and grain-derived-nutrient-free medium using microalga-derived nutrients and mammalian cell-secreted growth factors for sustainable cultured meat production. *Scientific Reports* 13:498.
136. Yan MQ, Feng J, Liu YF, Hu DM, Zhang JS. 2023. Functional components from the liquid fermentation of edible and medicinal Fungi and their food applications in China. *Foods* 12:2086.
137. Yoo YJ, Lee GW, Baek DH, Lee JW, Kim HS. 2020. Growth evaluation of lipid production microalgae *scenedesmus obliquus* using raman spectroscopy. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 21:223-229.
138. You GY, Yong HI, Yu MH, Jeon KH. 2020. Development of meat analogues using vegetable protein: A review. *Korean Journal of Food Science and Technology* 52:167-171.
139. Yu IS, Choi J, Kim MK, Kim MJ. 2023. The comparison of commercial serum-free media for Hanwoo satellite cell proliferation and the role of fibroblast growth factor 2. *Food Science of Animal Resources* 43:1017.
140. Yu M, Wang H, Xu Y, Yu D, Li D, Liu X, Du W. 2015. Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) promotes myoblast proliferation and skeletal muscle growth of embryonic chickens via the PI3K/Akt signalling pathway. *Cell Biology International* 39:910-922.
141. Yuliarti O, Kovis TJK, Yi NJ. 2021. Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites. *Journal of Food Engineering* 288:110138.
142. Zahari I, Östbring K, Purhagen JK, Rayner M. 2022. Plant-based meat analogues from alternative protein: A systematic literature review. *Foods* 11:2870.
143. Zhang G, Zhao X, Li X, Du G, Zhou J, Chen J. 2020. Challenges and possibilities for bio-manufacturing cultured meat. *Trends in Food Science & Technology* 97:443-450.
144. Zhang R, Yang Y, Liu Q, Xu L, Bao H, Ren X, Jin Z, Jiao A. 2023. Effect of wheat gluten and peanut protein ratio on the moisture distribution and textural quality of high-moisture extruded meat analogs from an extruder response perspective. *Foods* 12:1696.
145. Zhang Y, Wang D, Chen Y, Liu T, Zhang S, Fan H, Liu H, Li Y. 2021. Healthy function and high valued utilization of edible fungi. *Food Science and Human Wellness* 10:408-420.
146. Zhu YY, Thakur K, Feng JY, Cai JS, Zhang JG, Hu F, Wei ZJ. 2020. B-vitamin enriched fermented soymilk: A novel strategy for soy-based functional foods development. *Trends in Food Science & Technology* 105:43-55.