



The Food and Life has published all type articles such as research articles, review articles, survey articles, research note, short communication or editorial since 2020. It covers the all scientific and technological aspects of food and life science.

**<https://www.foodnlife.org>**



## 대체단백질식품(식물성 대체육, 배양육, 식용곤충) 국내외 시장 현황 및 연구

조창준, 임혜원, 김보성, 정희원, 박성권\*

세종대학교 식품생명공학과

### Current status of research and market in alternative protein

Changjun Cho, Hyewon Lim, Bosung Kim, Heewon Jung, Sungkwon Park\*

Department of Food Science and Biotechnology, Sejong University, Seoul 05006, Korea

#### Abstract

As the global population increases and issues regarding health, environment, and animal welfare emerge, interest in alternative proteins is rising along with the emphasis on sustainability and food security in agriculture and livestock. Based on protein sources, alternative proteins can be divided into plant-based meat, animal cell-cultured meat, and edible insect. Alternative meat market will keep growing and accounting for 11% of the total protein food market by 2035. America has the largest share in the alternative protein market. Many food companies and startups are developing and distributing alternative proteins in Korea which is ranked 38<sup>th</sup>. Among them, plant based meat shows advantages in terms of production cost and safety verification, but may present some issues that include anti-nutrients and allergens. Animal-derived cell cultured meat can best mimic traditional meat products, but may have concerns for food safety and high production cost. In order to shift from traditional animal based meat production into extraction-, fermentation-, or culture-based alternative protein manufacturing system, it is necessary to understand the origins, pros and cons, and the current status of research and market for better forecast their future promises and challenges.

**Keywords:** alternative protein, cultured meat, plant based meat, edible insect, food security, world population

#### 서론

2022년 전 세계 인구는 79억 명이지만 매해 증가하는 추세로 2050년에는 97억 명, 2100년에는 110억 명에 달할 것으로 예측되고 있다(United Nations, 2019). UN의 인구 예측 결과, 중국과 인도가 포함된 아시아 지역과 아프리카 지역의 인구가 세계의 대부분의 인구를 차지할 것이라고 전망되고 있다. 세계 인구의 급증에 따른 식량의 수요-공급 불균형으로 기아와 빈곤 문제가 매년 증가하며 식량안보에 대한 관심이 고조되고 있다.

주 단백질 공급원인 고기, 우유, 육가공품 등을 생산하는 축산업이 발전함에 따라 우림 지대 벌목과 가축 분변 증가로 메탄과 아산화질소 등에 기인하는 온실가스과 수질 및 토지오염과 같은 환경문제가 발생하고 있다. 전 세계 경작지의 80%가 가축 방목지 또는 사료의 생산으로 이용되고 있으며 가축 사료를 생산하는 경작지는 5억 hPa로 전체 경작지의 1/3에 해당한다. 전 세계 물 사용량의 8%가 가축의 사료를 생산하는 데 사용되며 가축의 식수로 1%가 사용되고, 이를 통해 배출되는

가축 분뇨와 화학비료 공급 등이 물의 부영양화의 원인으로 지목되고 있다. 환경문제와 더불어 조류 인플루엔자, 돼지 구제역, 돼지 열병과 소 결핵 등의 가축 질병 문제가 매년 발생하여 경제적으로 큰 손실이 발생하고 있다. 최근 식품 트렌드는 소비자의 니즈를 충족시켜주며 환경을 고려한 건강 기능성 식품과 대체육과 대체 유제품 등의 대체식품들이 주를 이루어 건강 기능성 식품과 대체 단백질 제품의 소비량이 증가하고 있다. 따라서 새로운 식품 트렌드에 부합하며 앞으로 다가올 식량안보 문제의 보완책으로 식물성 대체육, 배양육, 식용곤충 등의 미래 먹거리에 대한 역사, 시장과 연구현황에 대해 간략히 리뷰하였다.

#### 본론

##### 대체 단백질의 역사

식물성 대체 단백질은 기원전 535년 고대 중국에서 밀 글루텐으로 제조한 세이탄(seitan)이 시초가 되어 대두 단백을 이용

\*Corresponding author : Sungkwon Park. Department of Food Science and Biotechnology, Sejong University, Seoul 05006, Korea. Tel: +82-2-3408-2906, Fax: +82-2-3408-4319, E-mail: sungkwonpark@sejong.ac.kr

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

한 두부, 템페 등 다양한 형태로 발전하였다(Bakhsh et al., 2021). 1896년 존 하비 켈로그는 육류 위주의 식생활을 대체할 방안으로 통조림 형태의 식물성 대체육을 개발 및 판매하였다. 이후 인구 증가에 따른 육류 소비 증가 문제 및 채식주의자의 증가로 대체육에 대한 연구가 활발히 진행되었으며 식물성 대체육을 기반으로 다양한 기업이 설립되었다. 1985년 Gardenburger사에서 쌀과 귀리를 이용한 햄버거 패티를 출시하였으며 같은 해 Quorn 사에서는 미세 곰팡이인 *Fusarium venenatum*을 이용하여 발효 햄버거 패티를 출시하였다. 2차 세계 대전 이후 농업의 대규모화와 더불어 대두를 기반으로 한 식물성 대체육의 연구개발이 진보되어 대두 농축 단백을 이용한 식물성 대체육을 제조하는 Tofurky, Boca burger 등 세계각지에서 다수의 회사가 설립되었다. 최근 식물성 대체육의 선두 기업인 Beyond Meat와 Impossible Foods가 설립되고 활발한 투자와 연구를 바탕으로 식육 모방 기술을 적용한 식물성 대체육 제품을 생산중에 있다.

배양육의 경우 1932년 영국에서 세포 배양을 이용한 배양육의 개발 가능성이 제시된 후로 미국과 네덜란드를 중심으로 관련 연구가 활발히 진행되었고 1999년 네덜란드에서 배양육 관련 첫 특허가 출원되었다. 이후 2007년 세포 분열 유도 기술이 개발됨에 따라 네덜란드에서는 살아있는 돼지로부터 얻은 줄기세포를 이용한 배양육의 생산 가능성을 확보하였다(Oh et al., 2021). 2010년 이후 Eat Just, Mosa Meat, Upside Foods를 포함한 다수의 배양육 기업이 설립되었으며 최근 Eat Just는 세계 최초로 세포 배양육 식품허가를 취득하였다.

작물이나 가축이 존재하지 않았던 농경시대 이전부터 곤충은 인류의 단백질 공급원 또는 약리적 목적으로 이용되어 그 역사는 대략 7,000년 전부터 시작되었다고 간주되고 있다(Tang et al., 2019). 일반적으로 곤충의 크기가 큰 열대 지역에서 소비가 가장 많았으며 식용곤충이 드문 온대지역에서는 거의 소비되지 않았다. 이후 농업의 발전과 동물의 가축화로 계절적 한계가 있는 식용곤충의 섭취는 점차 감소하였다(Kim et al., 2021). 최근 동물성 단백질의 대안으로 식용 곤충이 미래 식품으로 주목받기 시작하면서 UN 식량농업기구에서는 식용 가능한 곤충의 수를 약 1,400종으로 확대 등록하였고 미국과 유럽을 중심으로 산업화되어 Chapul, Exo를 비롯한 많은 기업들이 설립되었다.

## 대체 단백질 시장 규모 및 현황

전 세계 대체 단백질 시장의 규모는 2019년 약 47억 달러를 기록하며 빠르게 증가하였으며 2023년 약 60억 달러에 도달할 것으로 예상되고 있다. 2019년 전 세계 식물성 대체육 시장 규모는 33억에 달했으며 2027년까지 매년 19.4%로 성장할 것으로 전망되고 있다. 미국(10억 달러), 영국(6.1억 달러), 중국(2.8억 달러), 독일(2.6억 달러), 일본(2.2억 달러) 순으로 큰 규모를 갖고 있으며 우리나라의 경우 0.2억 달러로 전 세계에서 38번째의 시장 규모를 갖고 있다.

식물성 대체육은 대체 단백질 중 가장 큰 시장을 점유하고 있으며 전 세계적으로 다수의 기업에서 다양한 제품이 개발 및 판매되고 있다(Table 1). 미국의 약 85개 기업이 식물성 대체육 제품을 개발, 판매하고 있으며 영국, 네덜란드, 프랑스를 포함한 유럽 국가에서는 20여 개의 기업이 활동하고 있다. 국내에서도 이러한 기조에 따라 다수의 기업에서 제품이 생산되고 있으며 식물성 대체육 관련 스타트업이 증가하는 추세이다.

전 세계 배양육 시장의 규모는 매년 성장하여 2020년 약 1억 1,880만 달러에 달했으며 MarketsandMarkets에서는 그 규모가 2025년 약 2억 1,400만 달러에 도달할 것으로 예상하였다. 미국, 네덜란드, 이스라엘, 캐나다, 호주와 일본 등에서 다수의 스타트업이 설립되고 활발히 연구 개발이 진행되고 있다(Table 2). 국내에서는 Danagreen, Cell meat, SeaWith와 Space F 등을 비롯한 스타트업 기업들이 설립되었고 현재 연구개발을 통해 시제품 개발을 홍보하고 있다. 또한 생산기술의 발전으로 배양육 생산 비용은 100 g당 37만 5천 달러에서 100 g당 약 1,986 달러로 크게 감소하여 상용화 가능성이 높아지고 있으며(Choi and Shin, 2019) 미국, 유럽, 아시아 등 주요 국가에서는 배양육의 안전성과 관련한 법적 제도 마련을 계획하고 있다.

세계 대체식품 제품 시장 중 식용곤충은 연평균 22.7%의 증가로 대체식품 중 가장 높은 증가율을 보였으며 2016년 기준 세계 곤충산업 시장의 규모는 약 1억 600만 달러에 달했다(Kim, 2017). 곤충 제품 소비 시장이 활성화되어 있는 아시아와 태평양에서는 2015년 약 1,200만 달러의 시장을 확보하였으며 그중 가장 큰 시장을 형성하고 있는 태국은 2만 개 이상의 농가에서 연간 7,500톤의 생산량을 유지하고 있다. 또한 글로벌 인사이트 보고서에서는 세계 식용 곤충 시장이 지속적으로

**Table 1.** Global companies for plant-based meat

Companies	Country
Impossible Foods, Beyond Meat, Tyson Foods, Amy's Kitchen, Cargill, Just, Alpha Foods, Morningstar Farms	USA
Gardein, Maple Leaf Foods, Yamchops, Lallemand	Canada
Quorn Foods, Vbites Group, Cpt Capital, The Meatless Farm Company, Cauldron Foods	United Kingdom
The Vegetarian Butcher, Seamore, Schouten Europe, Ojah, Meatless, Corbion	Netherlands
DevotionFoods, Unlim, Daily Vegan, Viomix, Soyamaru, Lotte Food	South Korea

**Table 2.** Global companies for cultured meat

Companies	Country
Memphis Meats, BlueNalu, Finless Foods, Balletic Foods, Just, Mission Barns	USA
Mosa Meat, Meatable(Netherland), Biotech Foods, Cubiq Foods(Spain), Gourmeyer(France), Higher Steaks(United Kingdom), Peace of Meats(Belgium), Innocent Meat(Germany)	Europe
Aleph Farms, Biofood Systems, Future Meat Technology, Meatech, Supermeat	Israel
Appleton Meats, Future Fields, Seafuture	Canada
Integri Culture, Nissin Foods Group	Japan

성장하여 2026년 7억 1,000만 달러 이상이 될 것으로 예상하였다(Kim et al., 2020). 현재 국내를 비롯한 미국, 캐나다, 멕시코, 유럽, 태국 등의 많은 국가의 기업에서 다양한 유형의 제품을 생산하고 있으며 지속적인 연구가 진행되고 있다(Table 3). 국내 곤충 사육 농가는 최근 3년 동안 724가구(2015년 기준)에서 2,590가구(2018년 기준)로 약 257% 증가하였으며(Kim et al., 2020) 농림축산식품부에 따르면 2020년 국내 곤충 산업 규모는 약 414억 원으로 전년 대비 2.1% 증가하였다. 1980년 국내 식용곤충 기술 관련 특허가 출원된 이후, 현재 우리나라는 중국 다음으로 가장 큰 점유율(42.5%)을 차지하고 있다.

국내 농림축산식품부는 제 1, 2차 곤충산업 육성 5개년 계획을 세우고 진행하여 곤충·양잠산업의 법령과 규정을 개정하고 식용 곤충을 가축의 범위에 추가하는 등의 성과를 이루었다. 또한 2021년 4월 기능성 소재 개발 및 대량화 생산체계를 목표로 제 3차 종합계획을 발표하여 식용곤충 시장을 지속적으로 확대하였다.

**대체 단백질의 장단점**

대체 단백질은 세계 인구증가에 따른 식량 공급 문제를 해결할 방안으로 식량안보를 확립할 수 있을 뿐만 아니라 식물성 대체육의 경우, 사용되는 자원과 배출되는 온실가스의 약 87%를 감소시킬 것으로 전망되고 있다(Lee and Kim, 2018). 실제로 유엔 식량 농업기구(FAO)에 따르면 전 세계 곡물 생산량의 약 33%가 가축 사료로 이용되고 있으며, 전체 온실가스 배출량

의 14.5%가 축산업에서 발생하고 있어(FAO, 2013) 대체 단백질은 이러한 문제에 효과적인 대안일 수 있다. 이는 최근 식품 업계에 불고 있는 지속가능성(environment, social and governance) 경영에 부합하여 여러 기업의 투자와 역량 강화를 위한 기술 지원 확대를 이뤘다고 있다. 또한 식물성 대체육과 식용곤충의 높은 단백질 함량, 배양육의 지방산 조성, 철분 함량 조절이 용이함을 이용해 다양한 영양 성분들을 최적의 비율로 조합할 수 있어 개인 맞춤형 제품 생산을 가능하게 하여 현재 식품 시장에서 높은 경쟁력을 갖출 수 있다(Lee et al., 2019). 반면 기존 축산물의 맛과 식감을 재현하기 위한 연구와 제품화에 많은 자본이 요구되고 생산 비용 역시 높다는 경제적 약점의 한계를 극복해야 한다. 또한 유전자 변형(genetically modified organism, GMO)에 대한 반감, 기존의 축산 제품에 익숙해진 소비자의 낮은 기호성 개선이 필요하며 새로운 식품 소재에 대한 명칭 정립과 같은 관리 체계 확립으로 기존 축산업 및 식품업계의와의 상생 방법을 모색하는 등 많은 노력이 요구되는 상황이다.

**대체단백질 국내외 연구동향**

**국내 연구동향**

식품가공기술의 발달에 따라 단백질 함량이 높은 대두, 병아리콩, 완두콩, 밀, 쌀, 견과류 등을 이용한 식물성 대체육 제품이 개발되었다. 밀단백질인 글리아딘과 글루테닌으로 구성된

**Table 3.** Global companies for edible insect

Companies	Country
Chapul, Exo, Chirps, Bud’s Cricket Power, Aketta, Bitty Foods, Bug & Biscuit, Bug Out Bar, Cricket Flours, Hil	USA
Bite Snacks, Earth Proof Protein, Entomo Dsp, Entomo Farms, Fit Cricket Nutrition, Yes Cricket	Canada
Berickets, Brinkos, Engrillo, Entomovit, Giiga Mx, Merci Mercado, Nutrinsectos, Totolines, Winko, Zofo	Mexico
Goffard Sisters, Kriket(Belgium), Crick, Entomos, Essento, Insecta Food(Swiss), Eat Grub, Bug Farm Foods, Bug(Better Universal Grub)(United Kingdom), Bug Box, Crickeat, Insectes Comestibles, Jimini’s Micronutis, Minus Farm(France)	Europe
Thailand Unique, Bricket, Bugsolutely, ProPro, Netx Food	Thailand
Circle Harvest, The Cricket Bakery, The Cricket Effect, Grubs Up, Hoppa Foods, Rebel Food Tasmania	Australia
OMO, Joeun yackcho, future food lab, foodbio, Hanmi yanghang, Sungam insect	South Korea

글루텐을 이용한 밀고기와 탈지 대두와 대두단백 등으로 제조한 조직화 대두단백(TVP, texturized vegetable protein), 그리고 농축대두단백, 대두분리단백을 이용한 콩고기가 그 대표적인 예이다. 한편, 우리나라는 TVP 생산 업체가 거의 전무하여 수입에 의존하고 있고 공정 기술과 풍미 구현을 위한 기술 수준이 선도 국가들에 비해 미비하였다. 하지만 지속적인 연구개발과 투자로 국내 대체육류 시장의 성장세도 가속화되고 있다. 국내 식물성 단백질 식품의 매출 규모는 연 60-70억 원이며, 콩불고기, 콩 소시지, 콩까스, 콩햄 등 콩 단백을 이용한 다양한 대체육류 제품의 출시로 규모가 점차 확대되고 있고 코로나19로 가치소비를 지향하는 소비자가 늘어남에 따라 매출도 증가하고 있다. 국내의 많은 연구기관 및 기업에서는 다양한 소재와 가공방법에 대한 특허를 다수 출원하고 있으며(Table 4) 이러한 흐름에 발맞추어 국내에서는 롯데푸드를 시작으로 비건 전문 업체뿐만 아니라 기존의 식품업체들도 대체육 사업에 뛰어들고 있다. 국내 최초 대체육 전문 브랜드인 언리미트는 2019년 대두에서 추출한 단백질과 익스트루딩 공법으로 '언리미트 슬라이스'를 출시하며 소고기와 비슷한 풍미와 식감으로 기술력을 세계 각지에서 인정받았으며 최근 식물성 폴드 바비큐, 민스 등을 출시하였다. 2020년에 친환경 식품 소재 전문 기업 HN노바텍은 해조류에서 추출한 헴 유사 분자와 생선연육으로 제조한 대체육류 제품의 특허 출원으로 기술력과 미래 성장성을 인정받고 있다. 롯데푸드는 국내 식품업계 최초로 식물성 대체육을 대량 생산했으며 롯데 대체육 브랜드인 엔네이처 제로미트는 최근 함박스테이크, 너جت 등의 다양한 형태의 식품으로 상품 구색을 확대하기 위한 연구를 진행 중이다. 풀무원은 소시지, 햄, 패티 위주의 대체육보다는 한국인 입맛에 친숙한 소불고기 형태의 대체육 개발에 집중해 왔다. 특히 풀무원 자체 개발 설비 및 기술역량과 최근 업무 협약에 성공한 미국계 식음료 원료 개발 기업 IFF의 식물성 조직 단백질(TVP) 원료와 연구 정보 등을 활용해 식물성 대체육 품질 경쟁력을 확보하고 있다. 농심 대체육 브랜드인 베지가든은 독자적으로 개발한 HMMA(high moisture meat analogue, 고수분 대체육 제조기술) 공법으로 실제 고기와 매우 유사한 풍미와 식감을 구현했으며 관련 10개 제품은 영국의 비건 소사이어티에서 국내 최초로 인증을 받았다. CJ제일제당 식물성 식품 전문 브랜드 플랜테이블은 식물성 단백질에서 가장 문제가 되는 콩 특유의 비릿한 향을 직접 개발한 차세대 프리미엄 식품 조미 소재인 테이스트엔리치(TasteNrich)로 잡아낸 비건 비비고 만두 등의 제품을 선보이고 있으며 국가 간 검역 절차가 까다로운 육류 성분을 제외한 100% 식물성 원료로 만들어 글로벌 시장 진출을 꾀하고 있다. 신세계푸드 대체육 브랜드 베리미트는 2016년부터 돼지고기 대체육에 대한 연구를 지속해 왔다. 특히 식물성 유지 성분과 대두 단백을 이용해 고기의 풍미와 감칠맛을 내고 해조류에

서 추출한 다당류를 활용해 햄 고유의 탄력성과 식감을 구현하는 기술의 특허 출원 및 해당 제품 출시에 박차를 가하고 있다.

배양육은 기존의 육류 생산체계에서 발생할 수 있는 한계점을 극복할 수 있는 방안의 하나로 최근 활발히 연구되고 있는 대체 단백질 소재이다. 또한 유일한 동물성 단백질 기반 식품으로 지속적인 공급이 가능하며 질감, 조성, 향미의 조절이 가능하다는 점에서 큰 이점을 갖는다. 향후 10년 이내에 배양육이 세계적으로 대중화될 것으로 보고되고 있으나, 이에 대한 의견은 다소 엇갈리고 있는 실정이다.

국내에서는 동물의 근육위성세포 및 중간엽 줄기세포 등을 이용한 배양육 연구가 진행되고 있다. 최근 몇몇 연구팀에서 근육 및 태반에서 세포를 추출하여 증식과 분화를 유도하고, 배양에 필요한 동물유래 혈청을 대체할 무혈청 배지 개발에 대한 연구결과가 발표되었다. 배양육 생산에는 세포의 성장과 발달을 촉진하는 것으로 알려진 동물유래 혈청(FBS, fetal bovine serum)이 주로 사용되는데, 이는 생산단가가 매우 높고 동물윤리적 문제가 이슈화되어 비동물성 혈청 대체제 또는 무혈청배지의 개발연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다. 엑셀세라퓨틱스에서 무혈청 배지에 대하여 개발 중에 있으며, 티리보스사는 세포배양 배지를 GMP 시설 기반으로 개발할 것임을 밝힌 바 있다. 또한 배양육 생산 시 삼차원 배양에 필요한 지지체 개발에서도 많은 발전이 이루어지고 있다. 시중에 사용되는 지지체는 대부분 식용이 불가능하고 비용이 높아 삼차원 배양을 위한 지지체와 관련된 안전성 및 최적화 연구가 활발히 진행되고 있다(Table 5).

배양육의 개발은 식물성 소재나 식용곤충을 이용한 대체육류 제품 개발에 비해 늦게 시작되었고, 소재의 특성상 기술적 한계가 더 많이 존재할 수 있다. 특히 국내 소비자의 경우 저지방 식육을 선호하는 유럽의 소비자와 달리 고지방 식육을 선호하며, 삼겹살, 목심 등 특정 부위들에 대한 선호도가 높은 특징을 보인다(Lim, 2018). 따라서 배양육 생산의 기초 기술 개발과 더불어 다양한 층의 소비자 니즈를 고려한 배양육 생산 기술 연구가 필요하다.

곤충단백질의 경우 국내에서는 현재 9개의 기업이 식용곤충 제품을 개발 및 출시하였으며 품질 향상과 새로운 제품 개발을 위해 연구를 진행 중이다. 2021년 기준 백강잠, 식용 누에, 메뚜기, 장수풍뎅이, 갈색거저리, 흰점박이 꽃무지, 쌍별귀뚜라미, 아메리카왕거저리, 풀무치를 포함한 10종의 식용 곤충이 식품의약품안전처의 인정을 받아 식품공전에 식품원료로 등록되어 있고 가공식품의 주원료로 이용되고 있다. 이 원료들은 주로 환, 분말, 생물, 건조 등의 형태로 가공되어 판매되고 있다. 국내에서는 번데기, 누에를 이용한 스낵, 에너지바와 같은 고단백 식품의 제조 및 기능성 소재를 함유한 건강기능식품의 제조에 관련한 특허가 가장 많이 출원되었으며(Yun and Hwang,

**Table 4.** Domestic patent status of plant-based meat

Applicant	Patent name	Application year	Characteristic
Altist Co., Ltd.	Manufacturing method of vegetable meat removed smell of soybean, vegetable meat manufactured by the same	2020	A plant-based meat made of fermented soybeans. Chemical analysis identified better physical properties than beef.
Sahmyook University Industry-Academic Cooperation Foundation	Method for Preparing Functional Mixed Concentrate Protein Extract and Plant based Meat Alternatives and Use thereof	2020	A plant-based mixed concentrated protein extract produced by mixing soybeans, green beans, red beans and peas, and a plant-based alternative meat produced by using the extract.
Konkuk University Industrial Cooperation Corp	Preparation Method for Meat Analogue Comprising Emulsion as a Substitute for Meat Fat	2019	An emulsion, Tween 80, lecithin, water, and oil, added to the plant-based meat for better preference and storage stability.
Naturesense Co.,Ltd.	Vegetable meat	2020	A plant-based meat using beans and wheat protein mixed with heme protein extract from the blood of cattle, pigs and chickens to reproduce the meat aroma.
Lotte Foods Co.,Ltd	Vegetable bacon and vegetable bacon manufactured by the same	2016	The raw meat of bacon reproduced using protein from tissue soybeans, and the fat of bacon using konjac.
Nambu University Industry-Academic Cooperation Foundation	Vegetable meat production methods, including enzyme-treated fibers and fern soybean meat prepared therefrom	2016	A plant-based meat produced by mixing bracken treated with carbohydrate hydrolytic enzyme for better texture, flavor, and fat-and-fat binding capacity.
JMfood Seonam University Industry-Academic Cooperation Foundation Jeonbuk Institute for Food-Bioindustry	Bulgogi of Dottori(acon) and Thereof Manufacturing Method	2014	Dietary alternative meat produced by mixing acorns, rice, starch, nuts, soy protein, seaweed, mushrooms, and wild vegetables.
Muju Walnut Processing and Promotion Project Group	Textured meat composition comprising walnut and preparation method for textured meat using it	2011	A low cholesterol plant-based, wheat-based meat and a flavoring agent mixed with walnuts and peanuts for better texture.
CJ Co.	A method of producing a mycoprotein, a mycoprotein produced thereby, a low-calorie meat substitute, a meat flavor and a meat flavor enhancer made of the same mycoprotein	2006	A mushroom <i>mycelium</i> used for low-calorie plant-based meat with excellent tissue and flavor.
Tae Kyung Nong San Co., Ltd	Process of manufacturing meat substitute food stuff	2020	A plant-based meat having a texture and flavor by utilizing an organized vegetable protein (TVP) and a high moisture meat alternative protein (HMMA).
HN Novatech Co., Ltd.	A Grilled Short Rib Patties using heme-like molecules extracted from seaweeds and fish meat	2020	Heme-like molecules derived from seaweed and fish meat used for mimicking meaty flavor.

TVP, texturized vegetable protein; HMMA, high moisture meat analogue.

2016), 그중 숙취해소제, 자양강장제와 같은 기능성 식품의 원료를 목적으로 하는 특허가 대부분을 차지하고 있다(Table 6).

국내 연구진들은 식용곤충의 높은 영양학적 가치를 이용하기 위해 원재료·단백질·오일류 가공 기술을 지속적으로 발전시키고 있으며 건강기능식품이나 치료제에 적용할 수 있는 가능성을 모색하고 있다. 현재 곤충 단백질 추출 방법으로는 추

출 용매에서의 용해도 차이에 따른 분리 방법, 초미세여과 또는 유동상 크로마토그래피가 활용되고 있으며, 최근 농촌진흥청에서는 단백질 가수 분해 효소를 이용한 고수율 곤충 단백질 추출 기술을 개발하였다. 건조 유충으로부터 유지를 분리하기 위한 기술로는 비가열 압착법, 초임계 추출법이 개발 중이며, 곤충 유충 오일의 기호성을 증진하기 위해 산, 요소, 흡착제를 첨가하는 기술을 이용한 식용 곤충 유지의 제조가 개발 중

**Table 5.** Domestic patent status of cultured meat

Applicant	Patent name	Application year	Characteristic
Danagreen Co.,Ltd.	Porous cellular scaffold comprising serum-derived protein, and production method	2019	Production of porous cellular scaffold including serum-derived proteins by treating a cross-linking agent and a reducing agent in an aqueous serum-derived protein solution.
Seawith Co.	Scaffold for cell culture and manufacturing method thereof	2019	Alginate extracted through decellularization of seaweed and a support having a hydrogel structure.
Ju, Seung Yon	Three dimensional cell culturing kit and the culturing method using the same	2013	Agarose gel supporting the viscosity in which the hardened syrup diffuses and melts inside the agarose solution, forming a large number of fine gaps.
Korea University Research and Business Foundation	Flat micro-fiber and scaffold for cell culture containing the same	2013	Carrier for cell culture comprising a flat microstructure with grooves.
Korea Research Institute of Chemical Technology	Carrier for cell culture comprising microcapsules containing natural oil	2019	Carrier for cell culture comprising microcapsules containing gelatin, natural polymers, oil and oil thickeners and improved mechanical properties.
Nanyang Technological University	Methods of manufacturing hydrogel microparticles having living cells, and compositions for manufacturing a scaffold for tissue engineering	2013	Hydrogel microparticles composed of gelatin and soya oil alginic acid.
Inserm	Methods for preparing porous scaffold for tissue engineering. Cell culture and cell delivery	2017	Porous scaffold composed of polysaccharides, cross-linking agents and porogen agents.

**Table 6.** Domestic patent status of edible insect

Applicant	Patent name	Application year	Characteristic
Lee, Sil Gu, Park, Jin Gyu	Manufacturing method of ball snack using pupa	2018	The present invention relates to a method of manufacturing a ball snack using pupa, and more particularly, to a method of without disgust by the appearance of a ball, while changing to crispy tissue through a process of frying and baking.
Bogoshinyak Co., Ltd. Lee, Byung Hee	Functional food containing silkworm extract for the promotion of estrogenic activity	2005	The estrogen-enhancing effect of silkworm was analyzed, and functional foods with estrogen activation were prepared using silkworm hydrothermal extract and ginseng, sewage, and turmeric.
Nongshim Co.,Ltd	Processing of preparing edible insects acid hydrolysis	2017	Food ingredients with improved nutritional properties were produced by removing harmful ingredients and large amount of lipids by acid hydrolysis of edible insects.
Hong Seo Yeon	Manufacturing method of natural powered food using edible insects	2020	The mealworm beetle was blanched in water and mixed with a supplementary material to prepare a powered food with an immune system improvement effect.

에 있다.

국내에서는 곤충 외관에 의해 낮은 선호도를 향상시킬 방안으로 쿠키, 시리얼, 바와 같이 곤충의 형태를 띠지 않는 가공식

품이 개발되었으며, 식용곤충의 소비 확대를 위해 한식 양념장, 양식 소스 등 다양한 메뉴를 개발하여 식품에의 적용성을 확대하고 있다. 그 외에도 반려동물의 간식·사료·환자식 등 범위를

점차 확대하여 2019년 기준 총 52개의 암 환자식 제품을 개발하였다. 최근 농촌진흥청에서는 누룩을 이용한 고소에 단백질 추출 기술의 개발에 성공했고 한국식품연구원에서는 식용곤충의 가공적성을 향상시키기 위해 수분과 지방을 제거하고 순수 단백을 분리하여 키틴 함량을 감소시킬 수 있는 기술 개발에 성공한 바 있다.

## 국외 연구동향

전 세계 채식 인구는 2억 명에 육박하며, 건강, 종교, 환경오염 및 동물복지에 대한 인식 증가 등의 요인으로 지속적인 증가 추세에 있다(Park, 2021). 또한 구제역, 아프리카 돼지 열병, 조류 인플루엔자와 같은 가축 질병의 유행으로 인한 소비자의 불안심리가 크게 증가하였고, 웰빙(well-being), 로하스(LOHAS)에 대한 관심이 고조됨에 따라 식물성 대체육에 대한 수요가 급증하고 있다. 중국, 인도 등 많은 국가에서는 경제의 성장으로 편의 식품 및 대체육의 수요가 6년 동안 약 22억 달러로 증가했다. 최근까지 대체육 시장은 유럽이 주도했지만 미국의 공생산 증가로 미국의 대체육 시장이 크게 증가할 것으로 예상된다. 또한 편의 식품의 수요 및 인구 증가로 향후 7년 동안 대체육 시장은 지속적으로 확대될 것으로 예상되고 있다. 대체육류 시장의 39%는 유럽이 차지하고 있으며 인도, 대만을 비롯한 아시아, 호주/뉴질랜드, 미국 등 전 세계적으로 식물성 대체육 시장은 증가 추세에 있다.

미국 실리콘벨리의 임파서블 푸즈(Impossible Foods)는 콩과 식물의 뿌리에서 추출한 식물성 heme protein인 leghemoglobin 생산 plasmid를 효모 *Pichia pastoris*에 주입하여 생산된 leghemoglobin을 식물성 단백질로 만든 대체육에 첨가하여 식육의 풍미와 색을 재현했다. 비욘드 미트(Beyond Meat)는 콩과 쌀, 코코아와 카놀라오일 등으로 기존 단백질과 지방을 대체하고 비트 주스, 사과 추출물 등을 활용하여 맛, 향, 색을 내고 있다. 이외에도 Hampton Creek, Boca Burger, Tofurkey, Tofu, Tempeh를 비롯한 여러 회사에서 대체육류 개발 기업들에 대대적인 투자와 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 회사들 대부분은 콩 단백질을 주원료로 하여 제품을 생산하고 있으며 콩 단백질을 기반으로 한 제품은 세계 식품 시장의 4-5위를 차지하고 있다. 이 외에도 외국에서는 음식 성분에 대한 내성(intolerance) 및 알레르기(allergy)가 주 관심사로 떠올랐다.

대체육의 주재료로 대두, 밀 글루텐, 강낭콩, 병아리콩, 쌀, 옥수수, 벚싹뿐만 아니라 곱팡이, 세균과 같은 새로운 소재들도 개발, 이용되고 있다. 이러한 단백질은 원료 자체가 가공방법에 따라 맛과 영양성분이 다르고 특정 기술에 따라 기능성의 차이를 보이기 때문에 가공방법이나 기술을 달리하여 새로운 조합으로 대체육의 특성과 식감을 개선할 수 있다.

국외에서는 1999년 배양육을 기반으로 한 국제 특허가 네덜란

드에서 출원된 후로 네덜란드의 Mosa meat, 미국의 Memphis meats, Modern Meadow와 일본의 Integriculture 등의 기업에서 배양육 제품의 개발에 성공하였다. Mosa meat는 2013년 소의 근육세포를 배양하여 햄버거 제품을 제작하였다. 당시 제품 생산에 25만 유로가 소모되었지만 현재는 약 9유로에 생산이 가능하며, 생산 시설 규모확대와 규제 승인을 통해 배양육 사업 본격화를 목표로 하고 있다. Memphis meats는 근위성 세포를 사용하여 치킨 너겟과 쇠고기 미트볼, 오리 조직 생산에 관한 연구를 진행 중이다. Aleph Farms는 세계 최초로 우주에서 인공 소고기 제조에 성공하였으며, 3D 바이오 프린팅 기술을 이용하여 배양육 스테이크 개발 및 꽃등심을 구현하였다. Blue Nalu는 세포 기반 해산물 양식 기술을 이용하여 미세 플라스틱, 수은, 독성물질 및 기타 오염물질이 없는 해산물 생산하며, 세포배양 해산물 대량생산 상용화를 목표로 하고 있다. Shioke Meats는 갑각류 세포 배양육 제조 회사로 2020년 새우 덩sem을 식품으로 허가를 받았다. Wild Type은 물고기의 알에서 세포를 얻어 연어 배양육을 제조하였으며, 이를 이용한 초밥 제품 출시를 목표로 하고 있다. Eat Just는 2020년 11월 싱가포르에서 배양육으로 만든 닭고기의 생산과 판매에 대한 허가를 승인받은 바 있다.

무혈청배지 연구는 프랑스와 일본에서 활발히 이루어지고 있으며, 실제로, 2000년 네덜란드 Mosa meat사에서 albumin, FGF(fibroblast growth factor), vitamins, hormones, cytokines 등으로 구성된 무혈청 배지를 개발하였다(Nikolits et al., 2021). 2015년 프랑스에서는 소태아혈청을 대체할 수 있는 embryo를 개발하였으며(Moreno et al., 2015), 일본에서는 2013년부터 무혈청 배지 연구를 시작하여 세포 성장을 촉진하는 CELLIST 시리즈 개발, 2015년에 대규모 세포배양 기술(CulNet system)을 개발하였고, 호주에서는 유전자 변형 없이 재조합한 단백질을 이용하여 항생제, 호르몬, 및 혈청이 함유되어 있지 않은 배지를 개발 중에 있다.

세계 식용곤충의 생산은 태국, 중국, 베트남 등 주요 아시아 지역에서 활발히 이루어지고 있으나 식품산업에서 식용곤충의 상품화는 주로 미국이나 유럽에서 이루어지고 있다. 미국은 귀뚜라미, 갈색거저리 기반의 햄버거 패티, 햄 등의 대체육 제품을 생산하였으며 미국의 선두기업인 Chapul과 EXO는 곤충의 단백질을 분리하여 조직 곤충 단백질(Textured Insect Protein, TIP)을 제조하는 기술의 개발을 기반으로 에너지 바를 생산하였다. 유럽의 Proti-Farm은 현재 식용으로 알려지지 않은 phoenix worm의 사육법과 식품 적용 가능성을 검토하여 제품 개발 중에 있으며 Hipromine은 곤충 단백을 분리 및 정제하여 곤충을 활용한 사료, 단백질, 오일 등 다양한 제품을 제조하고 있다(Kim, 2017; Ryu, 2017). 태국의 Hiso에서는 1차원적 곤충 식과 더불어 시즈닝을 첨가한 스낵, 파스타의 개발에 성공하였

고 귀뚜라미와 누에번데기를 분말화 및 조미하여 유통하고 있다. 이와 같은 주요 식용곤충 기업들은 일반적으로 식재료와 혼합하여 가공하는 방식으로 제품을 생산하여 소비자 범위를 확대하고 있다.

최근 네덜란드에서는 Aqueous 추출법, Soxhlet 추출법과 Folch 추출법으로 유지를 추출하여 비교를 통해 최적의 추출법을 확립하였고 버팔로 밀웬 단백질 유단백질과 유사한 근육 합성 능력을 보임을 확인하였다(Ryu, 2017). 미국에서는 곤충 단백질 농축물 및 곤충 유청 단백질 농축물과 염을 혼합한 곤충 우유의 제조 방법에 대한 특허를 출원하였고, 중국에서는 이물질 및 독소를 제거한 곤충을 에탄올을 이용하여 단백질을 추출하고 이를 기반으로 식용곤충 알부민 분말 제조 기술을 확보하였다.

### 대체육 인식 및 향후 발전 방향

식물성 대체육의 낮은 선호도의 원인 중 하나는 이취로 알려져 있어 이를 저감하는 기술개발 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 식육관능의 중요한 요소인 육색과 관련되는 미오글로빈은 식육고유의 육색을 부여하는데, 식육을 가열시 화학반응에 의해 heme protein이 변성되어 식육의 색이 변하게 되는 원인이다. 육색 모방을 위해 적색 사탕무, 파프리카, 적양배추, 검정콩과 비트 등 천연 식물성 적색소, 홍국색소 같은 미생물성 적색소와 콩과 식물 뿌리의 heme protein leg hemoglobin 등을 식물성 대체육 색소로 이용하기 위한 연구가 진행 중이다.

최근 쌀, 도토리, 버섯, 호두 등을 활용한 대체육이 개발 중에 있지만 식육의 풍미와 질감 재현에는 제한적이다. 따라서 기존에 개발되었던 소재가 가지는 한계를 극복하여 우수한 식육 조직 성상을 모방할 수 있고 식육의 가치를 부여할 수 있는 최적 식물성 소재의 선별이 무엇보다 중요할 것으로 사료된다.

보다 식육 같은 대체식품에 대한 니즈가 증가하고 최신 푸드텍과 분자생물학 기술이 발달함에 따라 세포배양 기술을 활용한 배양육 생산 및 산업화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 배양육 생산을 위한 기초 공정 확립 및 생산과 안전성 및 품질 평가 진행을 목표로 배양육 생산을 위한 기술 개발과 생산비 저감을 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 배양육의 상용화까지는 상당한 기간이 필요할 것으로 예상되지만 실제 고기와 유사한 조직감, 색감 및 맛과 향을 구현하고 소비자 니즈 맞춤형 배양육 생산 기초 기술들은 여러 기관에서 확보 중에 있는 것으로 보여지고 있다.

대체육, 특히 배양육 생산 연구는 해외에서 주도되고 있어 국내 배양육 생산 기술의 자주적인 확립과 독립적인 미래 원천 기술의 확보가 무엇보다 중요할 것으로 사료된다. 배양육의 주 재료는 근육 세포인데, 이와 관련하여 근육세포의 성장과 분화 관련 유전자 분석을 통해 축종 별, 성별, 부위별 근육세포의 배양 특성을 확립할 필요가 있다. 또한 식육의 마블링 모방을 위

해 지방세포의 성장특성과 분화조건 분석을 통해 배양육의 관능적 품질을 향상하고 소재 및 가공 기술 개발 시에 기초자료로 이용될 수 있을 것이다. 근육과 지방세포의 특성상 줄기세포의 역할이 매우 중요한데, 지금까지 줄기세포 분화와 관련된 연구결과와 특허들은 줄기세포치료제 및 세포신호전달 분야에 치중되어 있어 배양육 생산 관련 연구로의 확대가 필요하다.

세포의 대량 배양을 위해 삼차원 배양 공간에 대한 이해와 세포가 지지하여 자랄 수 있는 지지체에 대한 연구개발도 중요한 분야이다. 지지체는 다양한 소재가 사용될 수 있고, 여러 가지 건강 기능성이 부가적으로 가감될 수 있는 장점이 있기 때문에 다양한 분야와의 협업을 통한 연구개발이 필요할 것으로 사료된다.

또한, 배양육의 안전성을 확보하고 대량생산체계를 확립하기 위해서는 혈청을 대체할 수 있는 소재 개발이 반드시 수반되어야 한다. 이를 위해 현재 사용되고 있는 소 태아 혈청의 면밀한 분석과 이를 대체할 수 있는 다양한 성분을 탐색하고 이를 세포에 적용하는 작업이 필요하다.

또한 기존 식품, 축산업계와의 이해관계도 풀어야 할 숙제라 할 수 있다. 가축이 아닌 실험실에서 배양된 것이기 때문에 ‘고기’나 ‘육’이라는 단어가 적절한지에 대한 논란과 실험실, 배양 등의 단어들이 주는 인공적인 면이 소비자들의 인식에 어떤 영향을 끼칠지에 대한 문제도 해결해야 할 것이다. 배양육이라는 새로운 먹거리 생산기술을 확보하기 위한 다방면적인 연구개발 노력은 향후 식량안보와 미래 먹거리 확보, 환경과 동물복지 이슈에 대응하고 관련 푸드텍 등 첨단 연구 수행능력의 증대와 함께 고부가가치 생명공학기술 개발과 경제적 이익 창출을 통해 국가의 신성장동력으로 발전할 가능성이 클 것으로 기대된다.

곤충의 경우 식품의약품안전처에 식품원료로 등록된 총 10종의 식용곤충을 바탕으로 연구가 진행되고 있으며 최근에는 ‘장수풍뎅이 유충 추출물 및 분말의 지방 세포 분화 억제 효능’, ‘장수풍뎅이 유충 단백질 가수 분해물의 항산화 활성’, ‘백감잠의 항노화, 항염, 미백 효능, 활성 효능’, ‘식용누에 분말을 첨가한 빵의 텍스처, 영양적 기능강화’와 ‘갈색거저리 유충 분말을 첨가한 선식, 돈육 패티’(Choi et al., 2019; Park, 2018; Roncolini et al., 2019; Ryu et al., 2019) 등 다양한 식품의 품질 특성에 대한 연구가 보고되었다. 이러한 연구와 더불어 2021년 3월 기준 식품원료로 활용 가능한 식용곤충을 이용한 약 180종의 음식이 개발되었으나 소비자 반응은 아직 불투명하다. 소비자들이 식용곤충에 거부감을 느끼는 가장 큰 이유는 외형과 낮은 인지도 때문일 것으로 사료된다. 그로 인해 최근에는 식용곤충을 이용한 소시지, 미트볼, 초콜릿, 어묵과 같이 거부감이 없고 소비자에게 친숙한 제품 형태로 개발되고 있다. 또한 식용곤충은 단백질 함량이 높기 때문에 가수분해 기술을 이용한 곤충 단백질 환자식 개발을 목표로 하고 있으며 영양균형식, 고령친

화 식품, 건강기능식품 등 다양한 제품과 가공 기술의 개발이 계획 중에 있다. 더 나아가 식용곤충을 더 다양한 식품에 적용하기 위해 식용곤충 후보종의 섭식 사례와 안전성을 평가하여 식품원료로 사용할 수 있는 식용곤충 소재 개발 및 이를 대량 생산할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다.

## 결론

인구증가와 환경문제, 식량안보의 위기에 대한 대책으로 식물성 대체육, 배양육, 식용곤충과 같은 대체 단백질에 대한 관심이 고조되고 있다. 전 세계의 우수 기관과 기업들이 대체육에 투자를 이어가고 관련 산업과 연구에 참여하고 있다. 하지만 대체육 소재에 대한 면밀한 이해와 장단점의 파악 없이는 식품 안전을 비롯한 먹거리 개념에 큰 혼란을 야기할 수도 있다. 생산자와 소비자의 입장 차이를 좁히고 기존 산업과의 이해관계 또한 풀어야 할 숙제로 많은 고민과 관심이 필요할 것으로 사료된다. 식품의 기본적인 역할을 토대로 인류가 필요한 영양소의 안정적 공급을 위한 새로운 식품소재의 창출을 위해 최신 생명공학기술의 역할은 불가피하지만 이에 파생될 수 있는 안전성 문제와 인식 제고 또한 해결해 나가야 할 사안일 것이다. 발전하는 기술과 더불어 식품의 고유성, 안전성 및 안정성을 유기적으로 활용하여 경제적 이익 창출만 강조하기보다는 고유한 먹거리와 조화를 이룸과 동시에 건강하고 안전하며 믿을 수 있는 대체식품 개발을 위해 지속적인 관심과 지원이 필요할 것으로 사료된다.

## Conflicts of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

## Acknowledgments

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (iPET) through Development of High Value-Added Food Technology Program funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (317040-05); and the Technology Innovation Program (20012411, Alchemist Project) funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE).

## Ethics Approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

## Author Contributions

Conceptualization: Park S.

Formal analysis: Cho C, Lim H, Jung H.

Validation: Kim B, Jung H.

Writing - original draft: Cho C, Lim H, Kim B, Jung H.

Writing - review & editing: Cho C, Lim H, Kim B, Jung H, Park S.

## Author Information

Changjun Cho (Master, Sejong University)

<https://orcid.org/0000-0001-7964-3452>

Hyewon Lim (Master's Student, Sejong University)

<https://orcid.org/0000-0001-9458-9941>

Bosung Kim (Master's Student, Sejong University)

<https://orcid.org/0000-0002-5417-0238>

Heewon Jung (Master's Student, Sejong University)

<https://orcid.org/0000-0002-3678-9344>

Sungkwon Park (Professor, Sejong University)

<https://orcid.org/0000-0002-7684-9719>

## References

- Bakhsh A, Lee SJ, Lee EY, Hwang YH, Jo ST. 2021. Traditional plant-based meat alternatives, current, and future perspective: a review. *J Agric Life Sci* 55:1-11.
- Choi JH, Yong HI, Ku SK, Kim TK, Choi YS. 2019. The quality characteristics of pork patties according to the replacement of mealworm. *Korean J Food Cook Sci* 35:441-449.
- Choi MH, Shin HJ. 2019. State-of-the-art of cultured meat research and engineering task. *Korean Soc Biotechnol Bioeng J* 34:127-134.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Available from: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=15742#.Yj0dOudByUk](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=15742#.Yj0dOudByUk). Accessed at Mar 12, 2020.
- Kim SH. 2017. Current status and prospects of the edible insect industry: Global agro-food industry trends. *Korea Rural Economic Research Institute, World Agriculture*, 207:43-66.
- Kim TK, Yong HI, Jeon KH, Kim YB, Jung S, Kim HW, Choi YS. 2020. Analysis of technology trends of market creation and forecasts for edible insect. *Korean Soc Food Sci Anim Resour* 9:44-57.

- Kim TK, Yong HI, Lee JH, Cha JY, Kang MC, Jung S, Choi YS. 2021. Development of new technology for functional materials for edible insects as alternative food. *Food Sci Anim Resour Ind* 10:31-43.
- Lee HJ, Cho CH. 2019. Trends in the development of global alternative meat. *World Agriculture* 3:1-17
- Lee J, Kim Y. 2018. Alternative livestock development trends and implications. *Korea Rural Economic Research Institute Agricultural Policy Focus* 170:1-23.
- Lim D. 2018. Effect of carcass weight and thickness of back fat on the ratio of intramuscular fat in pork belly and shoulder butt. *Korean Soc Food Sci Anim Resour* 7:74-83.
- Moreno D, Neira A, Dubreil L, Liegeois L, Destrumelle S, Michaud S, Thorin C, Briand-Amirat L, Bencharif D, Tainturier D. 2015. *In vitro* bovine embryo production in a synthetic medium: embryo development, cryosurvival, and establishment of pregnancy. *Theriogenology* 84:1053-1060.
- Nikolits I, Nebel S, Egger D, Krefß S, Kasper C. 2021. Towards physiologic culture approaches to improve standard cultivation of mesenchymal stem cells. *Cells* 10:886.
- Oh H, Sung M, Shin J, Yoon Y. 2021. Development aspects and safety concerns of cultured meat. *Food Sci Anim Resour* 10:80-85.
- Park KH. 2018. Quality and characteristics of manufacturing *Sunsik* with edible insect (mealworm). *Culin Sci Hosp Res* 24:13-23.
- Park S. 2021. Current status of technologies for producing protein alternative foods. *Livest Food Sci Ind* 10:4-15.
- Roncolini A, Milanović V, Cardinali F, Osimani A, Garofalo C, Sabbatini R, Clementi F, Pasquini M, Mozzon M, Foligni R, Raffaelli N, Zamporlini F, Minazzato G, Trombetta MF, Van Buitenen A, Van Campenhout L, Aquilanti L. 2019. Protein fortification with meal worm (*Tenebrio molitor* L.) powder: effect on textural, microbiological, nutritional and sensory features of bread. *PLOS ONE* 14:e0211747.
- Ryu HJ, Song HJ, Lee SO. 2019. Enzymatic preparation and antioxidant activities of protein hydrolysates from *Allomyrina dichotoma* larvae. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 48:410-417.
- Ryu JP. 2017. Global edible insect market and processing technology trends. *World Agriculture* 207:25-42.
- Tang C, Yang D, Liao H, Sun H, Liu C, Wei L, Li F. 2019. Edible insects as a food source: a review. *Food Prod Process Nutr* 1:1-13.
- United Nations [UN]. 2019. World population prospects 2019: Highlights. Available from: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf). Accessed at Jun 17, 2019.
- Yun EY, Hwang JS. 2016. Status and prospect for development of insect foods. *Food Sci Ind* 49:31-39.

---

© Copyright. Korean Society for Food Science of Animal Resources.

Date Received Feb. 16, 2022  
Date Revised Feb. 23, 2022  
Date Accepted Mar. 15, 2022