

특집: 대체 단백질 기술 식품 동향

대체 단백질, 배양육 소재의 최신 연구 동향

최 정 석

충북대학교 축산학과

Research Trends in Alternative Protein and Cultured Meat Materials

Jungseok Choi

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

인구증가와 식육 소비

2019년 현재 세계인구는 77억 1천만 명으로, 2000년에 비해 1.3배 증가하였고, 약 47년 후인 2067년에는 세계인구가 103억 8천만 명에 이를 것으로 예측된다(통계청, 2019). 대륙별 인구증가의 추세를 살펴보면(그림 1), 1970년에 6대륙의 인구는 아시아가 2,142백만 명으로 나머지 5개 대륙의 인구를 합친 것보다 많았고, 인구증가 추세를 비교하면 아시아는 2019년 4,601백만 명으로 1970년에 비해 인구가 2배 이상 증가하였고 아프리카는 3배 이상(1970년 363 → 2019년 1,308백만 명) 증가하였다. 또한, 2067년에는 아시아의 인구가 5,238백만 명, 아프리카는 3,189백만 명으로 증가할 것으로 예상되며 세계 전체 인구는 100억 명이 넘을 것으로 예측되고 있다. 아시아와 아프리카의 인구 증가와 개발도상국들의 성장은 더 많은 식량을 필요하게 할 것이며 식량자원 중 육류의 요구가 크게 증가할 것으로 예측된다(Hak, 2018). 이에 따라 인구 증가에 맞춰 식육 공급량이 늘어야 한다.

인류의 육류소비량은 매년 꾸준히 증가하는 추세에 있으며, 실제로 전 세계의 식문화는 점점 곡류에서 육류 위주로 변화하고 있다. 미국, 호주, 유럽 등 서양에서는 이미

오래전부터 우유, 치즈, 고기 등 축산물을 주식으로 먹고 살아 왔으며, 곡물이 주식이었던 아시아에서도 육류섭취의 수준이 점점 증가하고 있다. Godfray 등(2018)의 조사에 의하면, 중국의 육류 소비량은 1990년대 초반 40 Mt에서 2010년 초반 80 Mt까지 거의 2배 이상 증가하였고(그림 2), 이러한 결과는 육류를 주식으로 하는 서양 국가들의 육류소비량을 뛰어넘을 수치이다. 그뿐만 아니라 그 외 아시아 국가 및 아프리카 국가의 육류 소비량 또한 과거에 비해 급격한 증가를 보이고 있다. FAO는 세계적으로 앞으로 30년 후 고기 및 육제품의 필요량이 455 Mt에 달할 것이며 50년 후인 2080년엔 524 Mt에 달할 것으로 전망하였다(Alexandratos와 Bruinsma, 2012).

고기생산을 위한 자원의 고갈

가축을 사육하기 위해서는 물, 땅, 공기, 사료의 자원이 필요하다. 현재 전 세계의 토지 면적 중 절반이 경작 및 가축 생산용으로 사용되고 있다(그림 3). 육류 소비의 증가는 결국 가축의 대량 생산이 필요하며 사육 면적의 확대, 사료 요구의 증가, 사료작물 생산을 위한 경작지 확대 및 물 사용의 증가로 이어진다. 또한, 메탄가스, 이산화탄소 및 폐수의 배출 등 환경적인 문제로 이어지면서 전통

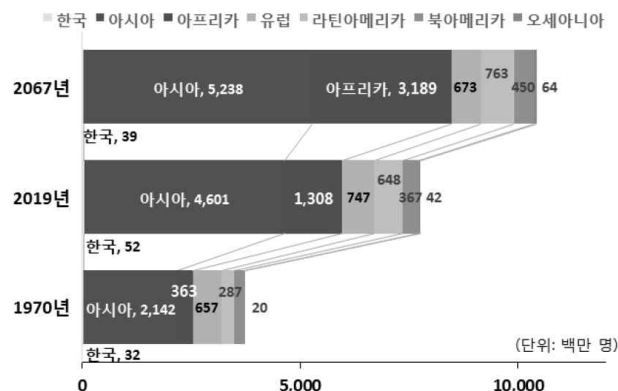


그림 1. 대륙별 인구증가의 추세. 자료: 통계청(2019).

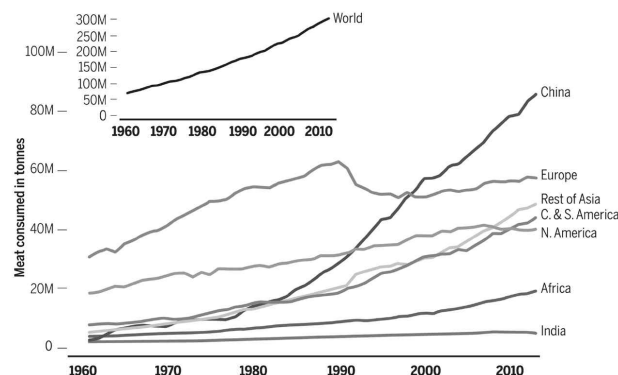


그림 2. 세계 총 육류소비 추세. 자료: Godfray 등(2018).

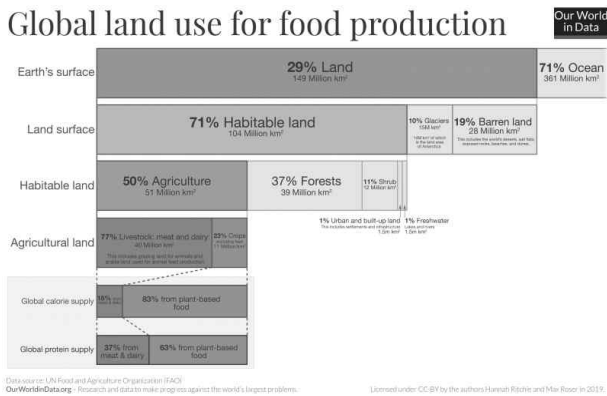


그림 3. 식량 생산을 위한 세계 토지 사용.
자료: Ritchie(2019).

적인 식육 생산 방식만으로는 식육 생산량을 지속 가능하게 증가시킬 수 없을 것으로 예상하며 이를 해결할 방법이 요구되는 실정이다. 최근 기존 가축으로부터 생산되는 식육 이외에 인간에게 단백질을 공급할 수 있는 대체 자원(곤충, 식물성 단백질, 미생물, 동물세포 등)들이 주목받고 있다. 이러한 대체 자원의 활용과 개발은 미래 인류에 육류 공급의 한계를 상호보완해 줄 수 있는 기술이 될 수 있을 것으로 전문가들은 예상하고 있다(이와 조, 2019).

배양육의 정의

배양육은 아직까지 cultured meat, *in vitro* meat, lab grown meat, cell-based meat, clean meat, advanced meat, cultured alternative protein, future meat, fake meat, bio-artificial muscle 등 다양한 이름으로 명명되고 있으나, 살아있는 가축으로부터 세포를 채취하여 이것을 연구실의 인큐베이터에서 키워 고기로 만드는 것을 말한다. 배양육은 인구증가 및 환경오염이 없으면 산업적으로 사실 필요 없는 기술이다. 그러나 세계 최대 과제인 안정적인 식량 공급의 대안으로 배양육의 개발이 필요하다. 배양육을 세계 최초로 정의한 사람은 윈스턴 처칠 전 영국 총리이다. 그는 1931년 '50년 뒤의 세계(Fifty Years Hence)'라는 글에서 다음과 같이 “우리는 닭가슴살이나 날개를 먹기 위해 닭을 통째로 키우는 모순에서 벗어나 적절한 배양액 내에서 부위별로 닭을 키우게 될 것이다”라고 하였다(Shapiro, 2018).

배양육 개발 동향

최근 세계적으로 배양육 연구개발이 다양한 푸드테크 기업들에 의해 활발하게 진행되고 있다(그림 4). 미국, 이스라엘, 네덜란드, 캐나다, 일본, 싱가포르, 스페인, 중국, 영국, 터키 등이 세포 기반의 배양육 개발을 하고 있는



그림 4. 세계 주요 세포 기반 배양육 개발 기업.
자료: The Good Food Institute(2019).

국가이며 20여 개의 기업(Balletic Foods, Blue Nalu, Bond Pet Foods, Finless Foods, Just, Kiran Meats, Memphis Meats, Mission Barns, Wild Earth, Wild Type, Aleph Farms, Biofood Systems, Future Meat Technologies, Super Meat, Meatable, Mosa Meat, Appleton Meats, SeaFuture, Integriculture, Shiok Meats, Cubiq Foods, Avant Meats, Higher Steaks, Biftek)이 설립되어 세포 기반의 배양육을 연구개발하고 있다(Cell Based Tech, 2018). 그중 30년간 배양육을 연구한 마크 포스트 교수는 배양육의 아버지로 불리고 있으며 배양육 개발의 권위자이다. 그는 2013년 8월에 런던에서 세계 최초로 배양육 시식회를 진행하였다. 최근 마크 포스트 교수와 연구팀은 앞으로 5년 이내에 상업적으로 판매 가능한 배양육 패티를 시장에 내놓기 위해 Mosa Meat라는 회사를 설립하고 계속 연구하고 있다(Mosa Meat). 미국에는 심장전문의 우마 발레티와 줄기세포학자 니콜라스 제노비스가 설립한 Memphis Meats가 배양육 분야의 대표 기업으로 2015년 12월 최초로 배양육 미트볼 시식회를 열었으며, 현재 시제품 생산을 위해 연구 중이다(Memphis Meats). 이스라엘에는 2017년 Aleph Farms가 설립되었고 소의 세포를 배양하여 스테이크용 인공 소고기를 만들었으며, 이것은 기존의 고기와 조직 및 맛에서 유사하여 세포 배양육 기술의 새로운 경지를 보여주고 있다(Aleph Farms). 또한, 싱가포르의 Shiok Meats는 동남아시아 최초의 세포 배양 기반의 해산물을 만드는 기업으로 새우, 게살 등을 이용하여 세포를 배양해 만든다(Shiok Meats).

세포 배양육 생산

세포 배양육을 만들기 위해서는 살아있는 가축으로부터 줄기세포를 채취하고 배양기에서 성숙한 조직으로 만들어 이것을 최종적으로 고기화해야 한다. 예를 들면 가축의 골격근에서 줄기세포를 분리하여 플라스크에서 배양하고 세포들이 조직을 형성할 수 있을 정도로 바이오리액터 안에서 증식, 분화 그리고 성숙단계를 거쳐 조직화 후 가공을 통해 배양육이 완성될 수 있다(그림 5).

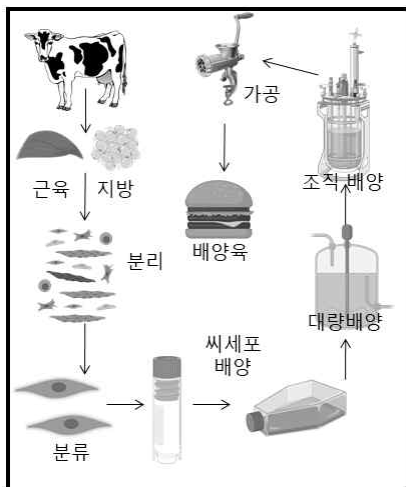


그림 5. 세포 배양육의 제조 과정.

Personal communication: Joshua Flack (Mosa Meat).

세포

배양육에 이용될 수 있는 줄기세포는 주로 골격근에 존재하는 미발달된 근육세포인 위성세포(satellite cells)이다(Mauro, 1961). 이 세포는 주로 근육의 상처를 회복하는 역할을 하는데, 배양 시 증식이 잘 이뤄지지 않지만 충분한 세포가 배양되면 근원섬유로 쉽게 분화된다(Post, 2012). 그 외 배아줄기세포(embryonic stem cells), 유도만능줄기세포(induced pluripotent stem cells, iPSC), 지방유래 성체줄기세포(adipose-derived stem cells) 등이 있는데(표 1), 이러한 세포들은 분화능은 충분히 가지고 있을지라도 지금까지 성공적으로 근육조직을 형성한 사례는 보고되고 있지 않다(Kadim 등, 2015).

세포 배양

배양육 제조를 위한 세포 배양의 조건에는 상당히 많은 변수가 존재할 수 있다. 세포 배양을 가축 사육에 비유하여 설명하면 육량, 마블링 같은 가축의 경제 형질은 유전적 능력과 환경적 조건으로 결정된다. 어떤 가축을 선택할 것인지, 가축에게 어떤 조성의 사료를 급여할 것인지, 어떤 사양 방법으로 가축을 관리할 것인지, 그뿐만 아니라 그것들 간의 상호 작용에 따라서 가축의 경제적 가치가 달라질 수 있다. 세포 배양에서도 마찬가지로 앞서 언급한 것과 같이 어떠한 세포를 이용할 것인지, 어떤 조성의 배양액을 세포에 급여할 것인지, 배양의 pH, 온도, 시간, 농도, 공기조절, 성장인자, 기계적, 전자적, 중력적,

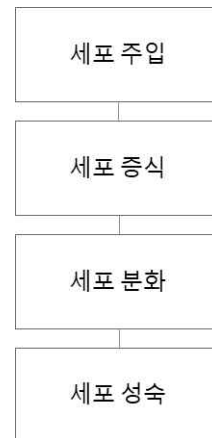


그림 6. 세포 배양육을 위한 배양의 기본 절차.

유동적 인자 등 다양한 외부적 조건에 의해서 달라질 수 있다(Edelman 등, 2005; Simsa 등, 2019). 현재, 세포 배양육을 위한 세포 배양의 기본 절차는 그림 6과 같다.

배지 조성: 배지는 세포에 필수영양소, 성장인자, 호르몬, pH 조절 및 삼투압 등을 결정하기 때문에 가장 중요한 요소이다. 세포의 주입, 증식, 분화 및 성숙 단계별 세포에 필요한 영양성분이 다르므로 각 단계의 배양액 조성이 달라야 한다. 세포 배지에 있어 가장 중요한 물질은 세포 성장 인자(성장, 접착인자, 호르몬, 지질, 비타민 및 미네랄 등)를 포함하는 말 또는 소의 태아 혈청(serum)이다. 혈청의 사용은 세포의 증식과 분화에서 세포막 투과성, 지질, 효소, 미량영양소 및 미량원소의 운반 기능을 하여 보편적으로 세포 배양에 매우 우수한 효과를 나타낸다. 하지만, 가격적으로 매우 비싸고 변이에 따른 표준화가 어려우며 세포에 원하지 않는 성분이 있을 수 있고 자극이 생길 수 있다. 또한, 가축의 혈청이 세포 배양육 생산을 위한 배지에 계속적으로 이용된다면 혈청은 주로 태어나지 않은 송아지로부터 채취되기 때문에 가축의 사육과 도축 또한 증가해야 하며 윤리적으로 우려가 될 수 있다(최와 신, 2019). 따라서 세포 배지에 혈청을 첨가하지 않고 세포를 배양하는 기술이 필요하다. 최근 시중에 이미 소태아혈청(Fetal bovine serum, FBS)을 대체하는 제품들이 출시되어 있으나(그림 7), 아직까지 세포 배양육을 위한 근육세포 배양 연구에서 FBS를 완전히 대체하였다는 보고는 찾을 수 없다.

배지는 제조사, 세포종류, 성장단계 등에 따라 다르지만, 일반적으로 무기염류, 아미노산, 비타민, 글루코스 등

표 1. 분화능에 따른 줄기세포 종류 및 특징

종류	분화 방향	복제 가능 횟수
배아줄기세포	모든 체조직 및 배아 발달 세포	매우 높음
유도만능줄기세포	대부분의 체조직 세포	세포에 따라서 다양
지방유래 성체줄기세포	유래한 종류의 조직	나이에 따라 다양
위성세포	단일조직	나이에 따라서 감소

자료: Kadim 등(2015), 이와 조(2019).



그림 7. 시중에 판매 중인 serum 대체품. 자료: PAN Biotect GmbH, Pepro Tech Inc., Fisher Scientific International Inc..

이 포함되어 있으며 배지의 조성에 따른 세포 배양의 연구들이 상당히 진행되었다. 세포 배양용 개발에서 세포 배양 단계의 최적 배양액 조성을 찾는 연구가 필요하다.

대량생산: 플라스크 안에서 세포들은 플라스크 면에 접착하여 성장한다. 우리가 세포의 특성이나 성장에 관한 연구를 할 때는 연구실 내 인큐베이터에서 행해지므로 큰 공간이 필요하지 않다. 하지만 세포 배양 연구는 앞으로 인류에게 식량을 안정적으로 공급하기 위해서 필요하다. 따라서 효율성, 지속성, 그리고 대량생산이 가능하여야 한다. 현재 세포 배양을 위한 세포 배양 기술은 아직까지 효율적인 면에서 많은 해결해야 할 부분들이 남아있다. 2013년 마크 포스트 교수가 런던에서 세계 최초로 배양육 시식회를 열었을 때 배양육 버거 1장의 가격이 무려 250,000유로였다. 그 이유는 실험실에서 파일럿 수준으로 세포들을 배양했기 때문이다(New Harvest, 2015). 하지만 공장에서 대량생산 시스템을 갖추면 배양육의 가격은 크게 낮아질 수 있다. 전문가들은 대량생산 시스템에서 배양육 버거는 9유로까지 낮아질 수 있을 것으로 판단하고 있다. 아직까지 대량생산 시스템을 갖춘 공장이 완성되었다는 보고는 없지만, 현재 배양육을 연구하는 기업들은 대량생산 시스템을 연구, 설계 그리고 배양육 생산 공장을 짓고 있다. 대량생산의 시스템에서 가장 중요한 기술은 작은 공간에서 많은 양의 세포를 배양하는 것이다. 플라스크 안에서 세포는 접착해서 성장하는 특징을 가지고 있기 때문에 2D의 생산시스템은 매우 비효율적이다. 따라서 3D의 공간에서 세포를 배양하는 방법은 2D 배양에 비해 세포의 생산량을 크게 향상시킬 수 있다(그림 8). 세포의 3D 생산을 위해서는 배양에서 200~300 μm 크기의 microcarrier 또는 bead가 필요하다. 세포는 microcarrier에 붙을 수 있으며 성장할 수 있다(Moritz 등, 2015). 하지만 근육세포를 이용한 3D 배양 시스템의 배양조건(세포농도, 세포성장 특성, microcarrier의 재질 및 투여량, 교반, 세포 획득 방법 등)은 아직 연구 중이며 이것을 세포 배양육 공장에 적용할 설계 및 시스템화가 필요하다.

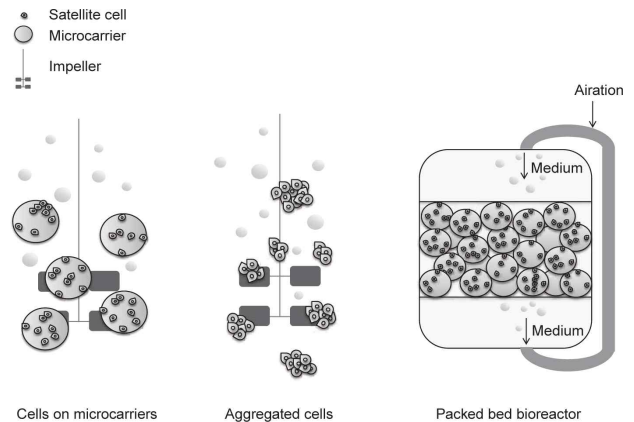


그림 8. 세포의 3D 생산. 자료: Moritz 등(2015).

고기다운 세포 배양육을 위한 기술

우리가 고기를 선택할 때 표면의 붉은 색 외관이 구매에 큰 영향을 미친다. 고기의 붉은 색은 미오글로빈(myoglobin)이라는 육색소에 의해 결정된다. 가축이 살아있을 때 근육 내 미오글로빈은 산소를 근육세포에 운반해주는 역할을 하며, 미오글로빈은 가운데 철 원자를 포함하는 heme ring을 가지고 있어 우리가 고기를 섭취할 때 금속 맛이나 피맛을 느끼게 해준다(Yancey 등, 2006). 또한, 고기는 근절(sarcomere)이라는 기본단위로 근원섬유를 형성하고 근육을 이루는데 특히 myosin, actin, titin, tropomyosin, troponin, nebulin 등의 골격근 단백질로 형성되고 그 외 지방조직, 근막 및 건을 포함한 결합조직 등으로 구성되어 고기 특유의 맛을 낸다(한국식육과학연구회, 2018). 세포 배양에서는 세포 증식과정에서 많은 myoblast가 반복적으로 증가하며 분화과정에서 myoblast들이 서로 붙음으로써 myotube를 형성한다. 그리고 성숙과정에서 근원섬유를 형성하는 순서로 세포가 발달한다(Post, 2012). 아직까지는 세포 배양으로 기존 고기의 맛을 내기에는 많이 부족하나 세포가 인큐베이터 안에서 어느 정도 성숙되느냐에 따라 실제 고기와 유사한 색, 외관, 조직 및 맛을 모방하는데 포인트가 될 수 있을 것이다. 근육세포를 성숙하는 방법에는 전기자극, 저산소 자극, 수축과 이완, 자성에 의한 자극 등이 있으며 반복적인 자극이 세포가 myotube로 분화 및 근절의 형성에 도움을 준다고 보고하였다(Kosnik 등, 2003; Powell 등, 2002; Yuge와 Kataoka, 2000; De Deyne, 2000). Langelaan 등(2011)은 C2C12(쥐 근육세포) 세포의 분화에서 전기 자극으로 많은 양의 actin과 myosin을 확인했으며, 저산소의 자극은 쥐 근육세포 내 myoglobin 단백질의 발현을 향상시킨다고 하였다(Kanatous와 Mammen, 2010). 하지만 소나 돼지 등 배양육에 활용되는 세포의 분화에서 자극으로 인한 myoglobin 단백질의 발현에 대한 보고는 미미하다. 한편, Simsa 등(2019)은 myoglobin과 hemo-



그림 9. 배양 지방조직을 혼합한 배양육의 관능평가.
자료: Mosa Meat사 홈페이지(2019).

데 myoglobin의 첨가로 세포 증식과 성숙한 세포조직의 색이 기존의 고기와 유사한 정도를 나타내었다고 보고하였다. 지금까지 배양육에서 골격근 단백질의 발현은 상당히 높게 나타나고 있으나 고기 특유의 특징을 부여하는 myoglobin 단백질의 발현은 배양육에서 실제 고기와 같은 색과 풍미를 위해 반드시 해결해야 할 과제이다.

또한, 지방은 고기 특유의 풍미와 영양적으로 매우 중요한 성분이다. 2013년 런던에서 열린 배양육 햄버거 시식회에서 마크 포스트 교수의 배양 햄버거는 매우 건조하다는 평가를 받았다. 이것은 지방조직이 배양육에 포함되지 않았기 때문이었다. 현재 지방세포의 배양은 근육세포의 배양에 비해 덜 중요하게 여겨진다. 하지만 고기다운 세포 배양육을 만들기 위해서는 지방세포의 배양 기술을 개발하는 것도 매우 중요하다. 지방세포는 앞서 언급한 근육세포와 같이 다양한 줄기세포로부터 배양되어 얻어질 수 있지만, 세포 배양육 개발을 위해서 아직 어떤 줄기세포들이 지방세포로 잘 분화될 것인지 어떤 줄기세포들이 지방조직 배양에 적합한 것인지에 대해서 연구가 필요하다. 또한 성숙한 지방조직을 얻기 위해서는 배지의 조성도 근육세포의 배지조성과 다르다. 이것은 근육세포와 지방세포가 서로 다른 배지에서 배양되어야 한다는 것을 의미한다. 또한, 근육세포와 지방세포의 성장특성 또한 다르기 때문에 지방세포의 성장특성을 이해하고 세포 배양육을 위한 적절한 배양 방법에 대한 연구가 필요하다. 한편, 고기 내 지방산의 조성(포화지방산:불포화지방산)은 심혈관 질환과 관련이 있는데 지방세포의 배양에서 지방산의 조성은 배지를 이용하여 조절이 가능하다(Post, 2018). 그림 9는 최근 Mosa Meat의 마크 포스트 연구팀이 근육조직과 지방조직을 달리 배양한 후 혼합한 배양육의 관능평가를 수행하는 모습이다.

결 론

배양육이 시장에 진출하기 위해서는 생산 효율성, 고기다운 특성, 소비자의 인식, 영양성분 및 안전성 같은 법적 기준 등 아직 풀어야 할 숙제가 남아있다. 하지만, 미래

인구증가와 자원 부족 그리고 소비자 가치의 변화로 인한 새로운 형태의 동물성 단백질 공급원의 개발이 필요하다. 아직 국내 배양육 생산 기술은 걸음마 단계이지만 지속적인 연구개발과 법적 기준을 마련하여 미래 식량 개발 기술에 선제적으로 대응하면 전통적인 식육생산 방식과 상호보완적으로 다양한 미래 먹거리 창출, 국민건강 그리고 국가경쟁력 제고에 이바지할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Aleph Farms. About us. [2019 Dec 27]. Available from: <https://www.aleph-farms.com/>
- Alexandratos N, Bruinsma J. World Agriculture Towards 2030/2050. FAO Statistical Yearbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 2012. p 19-20.
- Cell Based Tech. Lab grown meat companies. 2018 [2019 Dec 27]. Available from: <https://cellbasedtech.com/lab-grown-meat-companies>
- De Deyne PG. Formation of sarcomeres in developing myotubes: role of mechanical stretch and contractile activation. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2000. 279:C1801-C1811.
- Edelman PD, McFarland DC, Mironov VA, Matheny JG. Commentary: *In vitro*-cultured meat production. *Tissue Eng*. 2005. 11:659-662.
- Fisher scientific. Gibco™ KnockOut™ serum replacement. [2019 Dec 27]. Available from: <https://www.fishersci.fi/shop/products/knockout-serum-replacement-5/p-7076000>
- Godfray HCJ, Aveyard P, Garnett T, Hall JW, Key TJ, Lorimer J, et al. Meat consumption, health, and the environment. *Science*. 2018. 361:eaam5324.
- Hak J. The world food situation. 2018 [2019 Dec 27]. Available from: http://www.quaternes.nl/files/files/2013_02_qtn_world_food_situation_def.pdf
- Kadim IT, Mahgoub O, Baqir S, Faye B, Purchas R. Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *J Integr Agric*. 2015. 14:222-233.
- Kanatous SB, Mammen PPA. Regulation of myoglobin expression. *J Exp Biol*. 2010. 213:2741-2747.
- Kosnik PE, Dennis RG, Vandenburgh HH. Tissue engineering skeletal muscle. In Guilak F, Butler DL, Goldstein SA, Mooney D, editors. *Functional Tissue Engineering*. Springer-Verlag, New York, NY, USA. 2003. p 377-392.
- Langelaan ML, Boonen KJM, Rosaria-Chak KY, van der Schaft DWJ, Post MJ, Baaijens FPT. Advanced maturation by electrical stimulation: Differences in response between C2C12 and primary muscle progenitor cells. *J Tissue Eng Regen Med*. 2011. 5:529-539.
- Mauro A. Satellite cell of skeletal muscle fibers. *J Biophys Biochem Cytol*. 1961. 9:493-495.
- Memphis Meats. About us. [2019 Dec 27]. Available from: <https://www.memphismeats.com/>
- Moritz MSM, Verbruggen SEL, Post MJ. Alternatives for large-scale production of cultured beef: A review. *J Integr Agric*. 2015. 14:208-216.
- Mosa Meat. About us. [2019 Dec 27]. Available from: <https://www.mosameat.com/>
- Mosa Meat. Our latest taste test. Blog. 2019 [2019 Dec 27]. Available from: <https://www.mosameat.com/blog/2019/9/20/our-latest-taste-test>

- New Harvest. Mark Post's cultured beef. 2015 [2019 Dec 27]. Available from: https://www.new-harvest.org/past_research_projects#mark_post_cultured_beef
- PAN Biotech. Product. [2019 Dec 27]. Available from: https://www.pan-biotech.de/panexin-basic-serum-replacement-with-defined-components.html?__store=en
- Pepro tech. Serum replacement solution. [2019 Dec 27]. Available from: <https://www.peprotech.com/en/serum-replacement-solution>
- Post MJ. Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Sci.* 2012. 92:297-301.
- Post MJ. Proteins in cultured beef. In Yada RY, editor. *Proteins in food processing*. 2nd ed. Woodhead Publishing, Maas-tricht, Limburg, The Netherlands. 2018. p 289-298.
- Powell CA, Smiley BL, Mills J, Vandeburgh HH. Mechanical stimulation improves tissue-engineered human skeletal muscle. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2002. 283:C1557-C1565.
- Ritchie H. Half of the world's habitable land is used for agriculture. 2019 [2019 Dec 27]. Available from: <https://our-worldindata.org/global-land-for-agriculture>
- Shapiro P. *Clean Meat: How growing meat without animals will revolutionize dinner and the world*. Simon and Schuster, New York, NY, USA. 2018. p 1-24.
- Shiok Meats. About [2019 Dec 27]. Available from: <https://shiokmeats.com/>
- Simsa R, Yuen J, Stout A, Rubio N, Fogelstrand P, Kaplan DL. Extracellular heme proteins influence bovine myosatellite cell proliferation and the color of cell-based meat. *Foods.* 2019. 8:521.
- The Good Food Institute. Cultured meat. 2019 [2019 Dec 27]. Available from: https://www.futurefood.org/in-vitro-meat/index_en.php
- Yancey EJ, Grobbel JP, Dikeman ME, Smith JS, Hachmeister KA, Chambers IV EC, et al. Effects of total iron, myoglobin, hemoglobin, and lipid oxidation of uncooked muscles on liver flavor development and volatiles of cooked beef steaks. *Meat Sci.* 2006. 73:680-686.
- Yuge L, Kataoka K. Differentiation of myoblasts is accelerated in culture in a magnetic field. *In Vitro Cell Dev Biol Anim.* 2000. 36:383-386.
- 이현정, 조철훈. 세계 대체육류 개발 동향. 세계 농식품산업 동향. 세계농업. 한국농촌경제연구원. 2019. 3월호, p 1-17.
- 최문희, 신현재. 배양육의 최신 연구 현황과 공학적 과제. 한국 생물공학회. 2019. 34:127-134.
- 통계청. 보도자료-2019년 장래인구특별추계를 반영한 세계와 한국의 인구현황 및 전망. 2019.9.2. p 1-2.
- 한국식육과학연구회. 식육과학. 선진문화사, 서울, 한국. 2018. p 85-185.