

What Is Cultured Meat?

Man Kyu Huh*

Food Engineering and Technology Major, Dong-eui University, Busan 47340, Korea

Received March 26, 2021 / Revised June 10, 2021 / Accepted June 14, 2021

By 2050, 70% more food will be needed to fulfill the demands of a growing population. Among the solutions, cultured meat or clean meat is presented as a sustainable alternative for consumers. Scientists have begun to leverage knowledge and tools accumulated in the fields of stem cell and tissue engineering in efforts aimed at the development of cell-based meat. Cultured meat has to recreate the complex structure of livestock muscles with a few cells. Cells start to divide after they are cultured in a culture medium, which provides nutrients, hormones, and growth factors. An initial problem with this type of culture is the serum used, as in vitro meat aims to be slaughter free. Thus, it is contradictory to use a medium made from the blood of dead calves. The serum is expensive and affects to a large extent the production cost of the meat. A positive aspect related to the safety of cultured meat is that it is not produced from animals raised in confined spaces and slaughtered in inhumane conditions. Thus, the risk of an outbreak is eliminated, and there is no need for vaccinations and animal welfare issues. The production of cultured meat is presented as environmentally friendly, as it is supposed to produce less greenhouse gas, consume less water, and use less land in comparison to conventional meat production.

Key words : Cultured meat, cell division, clean meat, greenhouse gas, livestock muscles

서론

세계 인구는 2020년 약 73억명으로 2030년에는 약 85억, 2050년에는 약 90억으로 예측되고 있다[4]. 일부 국가에서 저출산을 겪고 있지만 아직도 많은 나라에서 노령인구의 증가와 유아 사망의 감소로 세계 인구는 증가일로에 있다. 이런 인구 증가에 따라 현재보다 약 70% 이상의 식량이 필요한 것으로 조사되었다[10]. 실제로 현재에도 7억 이상의 인구가 기아에 허덕이고 있다. 일부 선진국에서 육류 소비를 줄이자는 캠페인이 조성되고 있지만 중국, 러시아, 인도 등 인구가 많은 나라에서는 육류 소비가 부의 상징처럼 여겨 한층 증가하고 있다[30]. 저렴하고 안전한 단백질 공급이 인류의 건강과 식품공급의 중요한 이유 중 하나이다[34].

축산을 통해 많은 양의 육고기, 우유, 달걀을 생산하고 있다. 또한 축산은 경제적, 사회적, 윤리적, 환경적으로 부정적 논리에 직면해 있다. 이에 대안으로 공장형 농업모델이 부상하고 있다. 전통적 축산업에 비해 온실가스 저감, 물의 효율적 사용, 동물 복지, 지속가능성 같은 장점이 있다[1, 13, 19, 29].

오늘날 직면하고 있는 환경과 동물 복지 같은 여러 문제를

어느 정도 해결하고, 증가하는 인구 부양을 위해 단백질 생산의 효율적 방안이 제시되고 있다. 이런 방안 중 하나로 배양육이 고기 조성을 변경시키지 않기를 원하는 소비자들을 위해 지속유지의 대안으로 등장하게 되었다.

배양육은 클린 고기(clean meat)라고도 하며 세포 배양으로부터 생성된 고기라는 뜻으로 살아있는 동물에 기반한 전통적 고기의 대안으로 떠오르고 있다[22, 27]. 전통적 고기를 모방하여 줄기 세포로부터 만들어진 세포 고기 생산이라고 정의하기도 한다[16].

배양육의 발전사는 Hamdan 등[15], 조성은 Fernandes 등[11]에서 잘 기술되었다. 배양육 연구는 2008년 첫 보고 후 2013년 이후 급격히 증가하였다. 그 해 8월 배양육에 의한 햄버거가 텔레비전 프로그램에 방송되었다.

본 연구는 Chriki와 Hocquette [7]를 기초로 한 것이며, Ben-Arye와 Levenberg [2]를 가미하였고, 논리적 전개에 있어서 중복 등은 삭제하였고 일부 내용은 보완하였으며 근거를 제시하였다.

배양육의 생성

배양육의 장단점

배양육은 일부 세포로 축산용 근육의 복잡한 구조를 재창조하는 것이다. 먼저 생체 동물세포로 생체검사를 한다. 근육의 일부를 절제하여 줄기세포로 증식하는데 그 과정에서 세포가 다른 형태인 근육세포와 지방세포로 재편된다. 세포는 적절한 배지에서 배양되면 분열하는데 배지에는 영양분, 호르몬, 생

*Corresponding author

Tel : +82-51-890-1592, Fax : +82-505-182-6870

E-mail : mkhuh@deu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

장 인자가 포함되어 있다. 최적의 배지는 fetal bovine serum (FBS)인데 혈청은 죽은 송아지의 혈액으로부터 얻는다. 따라서 부분채식주의자나 절대채식주의자에게는 제한적 요인이 될 수 있다. 세포가 1조 이상으로 분열성장하여 자연적으로 0.3 mm 보다 길지 않는 근관을 형성한다. 근관은 원통형 고리 내에 두면 근육조직으로 자란다. 근육의 일부는 1조 이상 가닥으로 증식할 수 있다. 이 섬유는 스펀지 같은 빨판에 부착하고, 영양을 가진 세포가 기계적으로 잡아당기게 되고 이 근육세포는 크기와 단백질 함량을 증가시킨다. 이런 과정에 입각해 일부 동물들은 세포증식을 통해 많은 양의 고기를 생산할 수 있고, 많은 동물을 죽이는 것을 피할 수 있지만 FBS로 사용하기 위해 일부 송아지를 희생할 수 있다. 소의 몸 내부 온도로 모니터된 실험실에서 세포는 고기 발달로 촉진될 수 있다. 배양에서 초기 문제는 사용하는 혈청에 관한 것으로 배양육은 도축에 자유롭게 하는 것인데 반대로 혈청은 죽은 송아지의 혈액에서 얻어야 했다. 또, 혈청이 고가여서 고기의 생산 단가에 영향을 주었다. FBS 만큼 효과적인 배양물을 식물에서 찾는 것이 배양육을 광범위하게 확산시키는 것이 목표 중 하나가 되고 있다. 배양육이 경쟁력을 가지려면 해결되어야 할 문제가므로 축산업에 비해 생산단가, 동물 윤리가 비견된다. FBS 외에 항생제와 항균제가 세포 배양의 오염을 방지하기 위해 광범위하게 사용되는데 이 역시 해결되어야 한다.

사람을 포함한 포유류가 그러하듯이 배양육도 자신의 성장

과 세포증식을 위해 호르몬, 성장인자(growth factor, GF)가 필요하다. 이런 문제는 산업적 측면뿐만 아니라 인류의 건강을 위해서도 연구되어야 한다. 유럽은 배양시스템에 사용되는 육고기 생산을 위해 호르몬 성장 프로모터 사용을 제한하였다. 그 외 insulin-like growth factor type I (IGF-I), fibroblast growth factor (β -FGF) and nerve growth factor (NGF), Leukemia inhibitory factor (LIF) 등 수많은 요소가 필요하다 (Fig. 1). 배양육은 목축으로 조직화된 섬유, 혈관, 신경계, 결합조직, 지방세포와 같은 실제 근육과 여전히 차이가 있다[19, 21]. 이는 배양육을 생산하기 위한 전략인데 비조직화된 근섬유를 생산하기 위해 줄기세포나 근육세포로 시작하기 때문이다. 실제 스테이크와 같이 뚜꺼운 고기를 생산하는 것은 아직은 꿈이다. 실제로 출산 동물 조직에서 발생하는 산소가 근육속으로 확산하는 데 배양육도 흉내내는 것도 산소 출입 필요성의 한 예이다.

실험실 배양육이 다양한 동물 근육을 반영하여 다양한 소비자에게 제공하기는 아직은 요원하다. 실제로 관능검사(향, 풍미 등)를 해보면 중간(돼지, 소, 양, 가금류 등), 종 내, 계통, 성과 동물 타입(어린 소, 성숙한 숫소, 어린 암소, 성숙한 암소), 사육 조건에 따라 고기의 특성이 차이가 있다. 이런 다양한 배양육을 생산하기 위해서는 위해 새로운 배양 생산조절시스템이 필요하다.

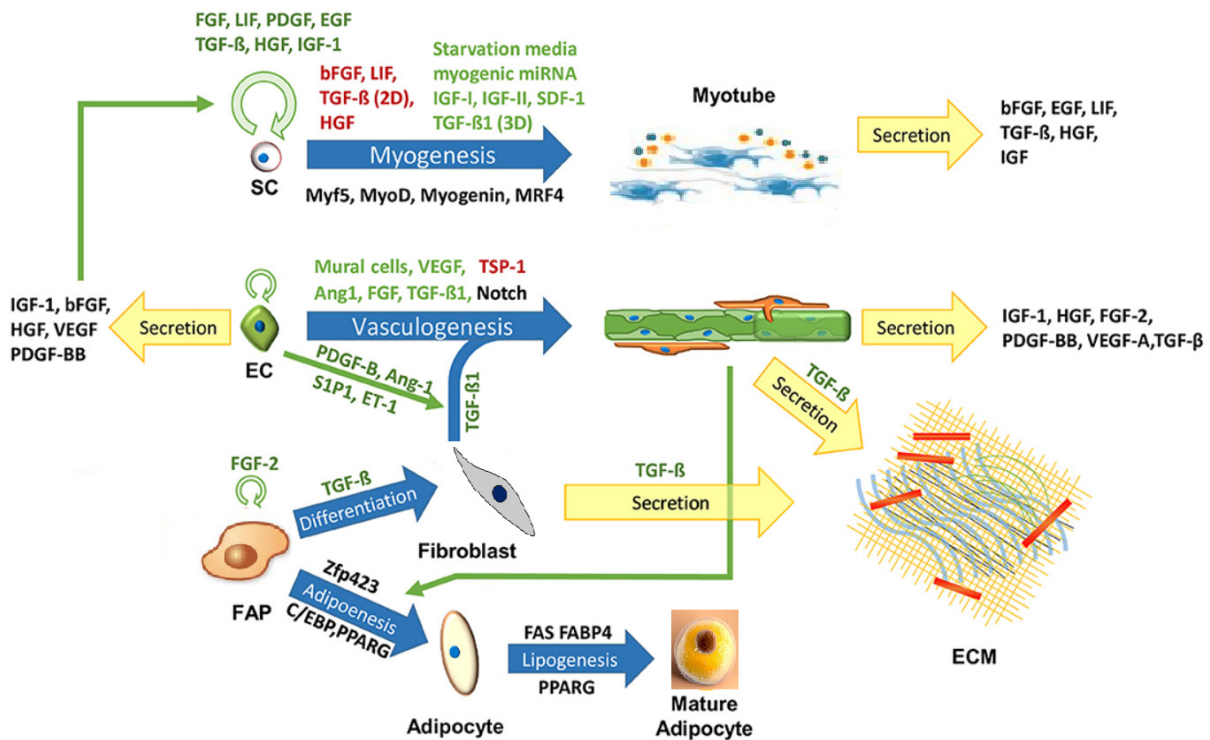


Fig. 1. Cells in the skeletal muscle niche. Blue arrows signify maturation processes. Black, green, and red text next to the arrows signify key biomarkers, inhibitors and enhancers of the process, respectively. Circular green arrows signify cell proliferation [2].

건강과 안전

배양육의 옹호론자는 전통적인 고기보다 안전하다고 주장한다. 실험실 배양육은 연구자나 생산자에 의해 통제된 환경에서 생산된다. 반면에 전통적인 고기는 비록 근육조직이 피부나 점액질로 보호되어있지만, 외부 세계라는 환경에 노출되어 있다. 실제로 내장기관으로부터 또는 도축과정에서 잠재적 오염이 일어난다.

배양육은 대장균, 살모넬라, *Campylobacteria*, *Listeria* 같은 장내세균의 위험이 없다. 2009년에서 2016년까지 미국에서 이들 균에 의한 식품 섭취에 따른 발명이 이류(17%), 유제품(11%), 닭고기(9%), 소고기와 돼지고기, 야채 등 기타(6-8%)순이었다[33]. 그런데 배양육에서도 과학자나 생산자가 모든 건강 문제를 실수나 간과하는 것을 우리는 예상할 수 있다. 이런 문제는 개조된 육류 생산에서 빈번하게 발생한다. 배양육은 새로운 생산물이기에 공중보건에 대해 모든 예상 결과를 알 수 없다. 또 세포 배양을 완벽하게 통제할 수 없어 예상치 못한 일이 발생할 수 있다. 예를 들면 많은 세포들이 증식과정에서 일부 계열은 조절장애로 인해 암세포로 전환될 수 있다. 이것은 우리가 모르는 잠재적 요인으로 근육조직에서 이런 일이 발생한 것을 부주의로 섭취할 경우 건강에 문제가 될 수 있다. 배양육의 안전에 관한 긍정적 측면은 일반동물의 대부분이 제한된 공간에서 사육되고 고가의 인플루엔자 백신이 접종되지만 배양육은 그렇지 않다. 항생제 사용은 축산에 있어서 주요한 문제 중 하나이다. 미국에서 항생제 70-80%는 목축업에서 사용된다[17]. 배양육은 제한된 환경에서 감염을 모니터링할 수 있다. 그렇지만 배양육 역시 오염방지를 위해 항생제가 첨가되면 논쟁이 될 수 있다.

또한 배양육의 영양함량은 생산을 위해 사용되는 배지의 구성에 좌우된다. 포화지방산과 불포화지방산의 비율은 쉽게 조절할 수 있다. 포화지방산은 오메가-3같은 다른 형태로 대체할 수 있지만 심한 악취를 제어해야 한다. 현재 목축업 고기에서도 오메가-3 지방산 함량을 증가시키는 시스템이 개발되어 있다. 배양육에서 건강에 좋은 동물성 생산물(예를 들면 비타민 B₁₂, Fe)을 가진 고기를 생산하는 전략은 없다. 적절한 배지에 어떤 미량 영양분이 도입된다면 긍정적 효과를 가져올 수 있다. 배양육에서 다른 생물학적 성분과 배양세포에서 조직화시키는 방법은 인체 건강에 긍정적 효과를 가져올 것이라고 확신할 수 없다. 배양세포에서 Fe같은 미량원소의 섭취는 잘 이해되고 있지만 배지 구성에 따라 미량원소의 건강상 이익이 감소되는 것도 배제할 수 없다. 배지에 화합물의 첨가는 배양육이라는 본래의 의미를 상실하고 '화합물'로 간주할 것이다.

전통적 축산업과 환경 영향 비교

일반적으로 배양육의 생산은 온실가스(Greenhouse Gas, GHG)를 덜 배출하고, 전통적 축산보다 물 소비가 적고, 토양 사용도 적기 때문에 친환경적이라고 한다. 그런데 이 비교는

편애적이다. 축산은 주로 반추동물이므로 세계의 GHG배출과 관련이 있다. 축산은 세 종류의 GHG (메탄, 이산화탄소, 산화질소) 배출과 관련이 있다. 초식동물의 소화기관에서 메탄이 생성됨으로 배양육을 통해 메탄가스의 배출을 줄이는 것이 세계적 관심사이다. GHG 배출의 14.5%는 목축에 기인한다는 보고가 있다[14]. 배양육에 의한 배출은 주로 이산화탄소로 배양된 세포를 가온하기 위해 화석연료를 사용하기 때문이다. 전통적 축산과 배양육에 의한 이산화탄소 배출 비교는 아직 일치된 견해가 없다. 궁극적으로 메탄가스는 이산화탄소와 달리 대기에 축적되지는 않는다. 일부 축산시스템은 배양육에 비해 온난화 피크가 높다. 그런데 온난화 효과는 목축시스템을 개선하면 배출이 감소하여 안정화가 될 것이다. 한편, 장기적으로 보면 배양육에서 이산화탄소 배출이 지속될 것이다. 일부 과학자들은 미국에서 전통적인 소고기 생산시스템(성장 촉진 기술)은 GHG이 덜 배출되고, 물과 토지, 동물의 수가 적어져 이산화탄소 배출이 비교적 적다고 보고하였다[6]. 실제로 출산에서 도축까지 기간을 단축으로 전통적 시스템이 에너지 소비가 줄어들었다.

목축과 배양육의 미래는 에너지 효율과 생산 시스템이 좌우할 것이다. 물 소비에 관해 소고기 1 kg을 생산하는데 깨끗한 물 15,000 l가 필요로 한다[9]. 지구 육수 물소비의 30%는 목축에 사용된다[14]. 실제로 물 소비의 96%는 동물의 사료가 되는 식물의 생장을 위한 것이다. 같은 축산이라도 방법을 달리하면 다른 결과가 나온다. 소고기 1 kg을 생산하는데 550~700 l 물이 필요하다는 보고도 있다[8]. 이 보고는 배양육 생산에서 물 사용을 비교할 때 척도로 사용할 수 있다. 15,000 l라는 보고는 배양육 생산과 물 사용 척도로는 적절하지 않을 수 있다. 또다른 문제는 수질이다. 배양육 측면에는 우호적이지 않는데 화학물질인 성장인자, 호르몬을 사용하기 때문이다. 실제로는 배양 과정에서 물과 화학물질이 외부 환경으로 유출될 수 있지만 고도로 조절시스템으로 드물다.

토지 사용에 대해 배양육은 목초지에 의존하는 전통적 목축업에 비해 우위에 있다. 하지만 이것도 배양육만의 장점으로 볼 수 없는데 목축은 토양의 탄소 함량, 토양 비옥도, 유기물, 질소, 인산의 공급원이 되기 때문이다. 목축을 위해 먹이 생산은 25억 헥타아르(지구 농경지의 약 50%), 단지 축산에는 비경작지에 해당되는 13억 헥타아르가 필요하다[18]. 토지 사용도 배양육과 축산 사이의 비교가 왜곡되고 타당하지 않다. 비교 형태에서 다양한 환경적 기능과 목축 시스템의 긍정적 효과가 고려되지 않기 때문이다. 또 하나는 효율성이다. 동물을 기반한 목축에서 생산은 비효율적으로 동물을 사육하는데 칼로리의 97%는 동물 체 유지에 소비되고 먹을 수 없는 부위도 많다[12].

목축에서 동물 복지

동물복지는 현대사회의 주요 관심사의 하나이다. Mark

Post [20]는 서구 사회에서 동물복지의 인지가 증가할 것으로 예측했다. 배양육은 '무희생 고기'라고 동물 방어로 인식하게 되었다. 배양육은 동물로부터 필요한 근육만 취하는 과정이므로 도축되는 동물의 수가 현저하게 줄일 수 있다. 그런데 오늘날 동물복지의 이유는 소, 돼지, 가금류 산업 생산에 주로 초점을 두고 있다. 실제로 많은 동물 밀집도는 기업적 축산에 치중되고 있고, 소규모 농가는 전세계적으로 감소하고 있다.

가축이 없어지고 배양육으로 대체된다면 많은 축산농가는 사라질 것이다. 가축농업시스템은 여러 기능이 있다. 인간에게 단백질 공급원 외에 가축은 농업인의 소득을 높여주고, 많은 세계 농업사회를 부양하고 있다. 이동방목, 치즈 같은 지방토산물을 위해 견학, 여행오는 사회문화적 측면도 제공한다.

시장과 법제

시장

Mark Post (Maastricht대학)에 의해 배양육이 생산이 제시된 2년 후인 2013년 배양육햄버거가 최초로 만들어졌다. 가격은 30만 달러였다. 이 엄청난 비용은 의학에서 사용되는 호르몬과 영양분이 주로 차지하였다. Specht [28]가 평가한 바에 따르면 생산비의 55-95%는 배지 비용인데, 그 중 99%는 성장인자(growth factor)가 차지하였다. 성장인자는 조직배양에 중요한 단백질로 이를 추출하는데 고비용이 든다. 배지 비용인 리터당 1\$이하여야 경제성을 갖게됨으로 향후 배지 산업이 발달할 것으로 추정된다[23]. Post교수는 이후 투자를 받아 연구팀을 꾸려 Mosa Meat라는 새로운 배양육을 발전시켰다. 그는 2021년에 9\$ 내외의 햄버거를 선보일 것이라고 했는데 보통 햄버거가 1\$ 정도 이므로 여전히 비싸다. 최근에 대체육은 무혈청 배지로 생산된다. 그 외 세포와 조직배양에 사용되는 생중합체, 효소, 수많은 분자물질이 비동물성 기원에 근거함으로 고가이므로 형질전환 식물을 이용하는 것이 비용절감적이다[35]. 배양육은 아직은 상품 진열대에는 없지만 가격을 낮추기에 위해 연구가 진행중이다.

목축업자들은 향후 보통 햄버거보다 저렴한 배양육이 쉽게 만들어질 것에 대해 이런 점진적 배양육 과정에 대해 우려하고 있다. 병원균에 대한 손상과 오염이 전통적 고기와 배양육 사이에 차이가 있다. 배양육의 오염은 실험실이 아닌 공장을 이용할 경우 도전이 될 수 있어 해결해야할 과제 중 하나이다. 최근 배양육의 소비자는 고등교육을 받은 젊은이와 도축고기의 소비를 감소시키고자하는 사람들이다. 단백질과 유사성에 관한 요구는 배양육 파내를 늘릴 것이다. 많은 연구자들이 이 새로운 고기가 채식주의 제품으로 간주하여 채식주의자들이 선호할 것이다.

2021년 영국에서 고기 대체물 판매는 25%까지 상승한 것이고, 우유대체품은 43%가 되어 금액으로 환산하면 우유대체품이 1억 4천 9백만 파운드(2억 8백만 달러)에서 2억 9천 9백만

파운드(4억 달러)가 될 것이다[34]. 치즈, 돼지고기 뿐만 아니라 배양육은 새로운 양식으로 다양한 제품이 시장에 진출하여 경쟁력을 뽐내고 있다. 이들은 새로운 지식 경제 전문가 직업군으로 자리잡게 될 것이다.

배양육은 문화, 성별에 따라 다양화하고, 배양육정보도 향상되고 있다. 앞서 기술한 바와같이 배양육은 식품의 조성이 변화지 않기를 바라는 소비자들을 위해 동물윤리에 대한 책임으로부터 벗어나고자 하는 대안의 하나가 되고 있다. 어떤 식품이든 소비자는 식품의 안전에 대해서는 타협을 수용하지 않을 것이고 맛이나 첨가물은 어느 정도 타협할 수 있을 것이다. 소비자들은 여전히 고기의 질에 민감하다. 점차 식물에 기초한 대체 고기가 개선되고 입맛에 부응하여 진짜 고기를 모방하고 있다. 따라서 높은 식감과 유기농 고기 대체 제품이 인조고기의 중간 대체품으로 간주하지 않고 소비를 증가시키고 있다. 식물에 기반한 단백질과 근단백질 유사 고기제품이 장차 배양육보다 더 증가할 수도 있다. 시장판매에서 이런 고기 대체품은 160억 달러가 투자되었고, 채소고기 대체품은 2018년에 약 7천 3백만 달러가 투자되어 배양육이 2015년에 1~2억 달러 투자에 비해 월등히 높았다[19]. 일부 과학자들은 배양육이 이미 구식이고, 식물 대체고기가 더 발전할 것으로 예측하고 있다. 향후 육류산업은 현재보다 복잡하게 재편되고 많은 육류와 대체 고기가 다른 급원으로부터 생산될 것이다. 모든 단백질 급원은 본질적으로 장단점을 내포하고 있어 상업적 측면과 소비자 선택에 의해 좌우된다. 새로운 제품이 성공적이 되고 전통적 축산물들의 대체품이 될 것이다. 대체품으로서 배양육 성공 역시 전통적 고기와 경쟁할 것이고, 시장에서 중요한 위치를 점유할 것이다. 고기는 수천개의 향미 분자가 있다[24]. 실제로 맛에 대한 경쟁력이 식물에 기초한 고기와 비교해도 손색이 없을 정도이고 가격에서 경쟁력이 있다면 소비자들은 구매행동에 나설 것이다.

고기 대체의 기술적 변화는 사회제도의 변화를 수용해야 한다. Van der Weele 등[31]은 배양육과 식물기반 고기 대체품 모두 사회 제도 요구에 어느 정도 수용하고 있다고 보았다 (Fig. 2). 새로운 소고기 제품(전통적 축산물이든 새로운 대체품이든) 소비자 행동과 문화 요구를 수용해야 지속 가능하다. 배양육은 고도의 기술변화가 있어야 소비자에 타협할 수 있다. 한편, 식물 기반단백질은 이미 상업화되었다. 일부 단백질 제품은 소고기, 돼지기, 닭고기, 곡류 등으로 대체되었고 말고기와 가니아피그 같은 고기는 국가에 따라 달라 될 소비되고 있다.

법제

배양육 규제에 관한 연구는 많지 않다. 미국에서 Schneider [23], 유럽연합에서 Petetin 등[20]이 있다. 용어에 관해 배양육은 고기와 비고기 사이에 있다. 2018년 3월 프랑스에서는 채식주의자(vegetarian)와 절대채식주의자(vegan)를 기술하는데

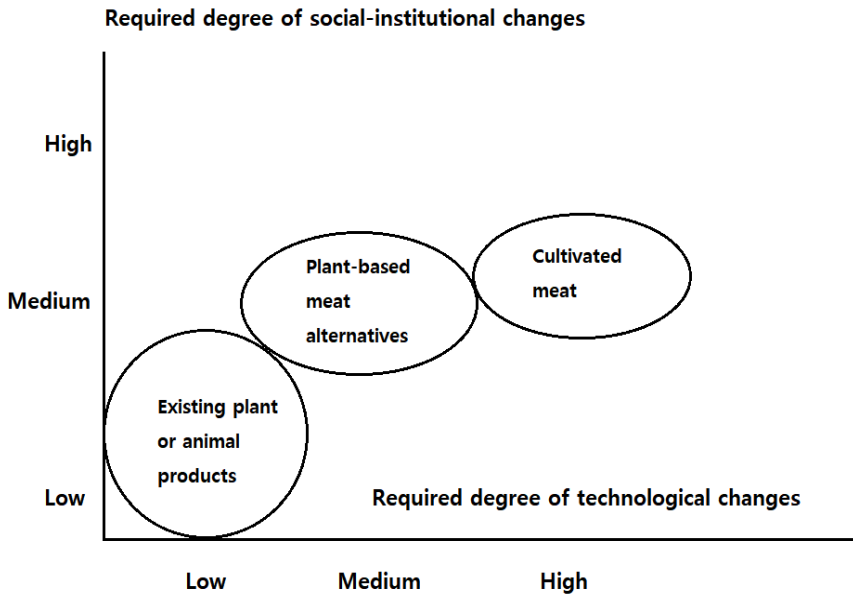


Fig. 2. Degree of social-institutional and technological change required for meat alternatives. Adapted from Van der Weele et al. [31].

고기와 낙농 관련 용어를 금지시켰다. 배양육에서 고기라는 용어는 아직 결정되지 않았다. 미국에서 목축농가는 미조리주에서 새로운 법을 제정하여 '고기(meat)'라는 용어가 가장 사전적으로 기술한 실제 동물로부터 유래것으로 국한시켰다. 또한 고기를 연구하는 과학자들은 '근육(muscle)'과 '고기(meat)'를 차별화하여 '고기'는 도살 이후 근육세포에 산소공급이 중지 상태에 있는 자연상태의 결과라고 한다.

배양육도 고기로 불러야할까? 배양육에 대한 명칭도 나라마다 다르다. '실험실-배양 단백질', '동물 단백질', '인조고기' 등이 거론되고 있다.

사회적 인식

소비자 인식

배양육을 소비자들은 어떻게 인식하고, 수용하거나 거부하는가? 배양육의 광고는 소비자에게 생산품의 의미를 잃어 가짜라고 인식한다. 소비자들의 수용불가는 하나의 시장으로의 진입장벽이 되고 있다. 더우기 초기 단계에 있는 배양육의 생산품은 아직 존재하지도 않기에 소비자 인식 평가를 어렵게 하고 있다. 물건에 대한 명칭이나 현상이 평가와 인식에 영향을 주기 때문에 배양육에 대한 다른 이름이 제시되고 있다. '배양육', '클린 고기', '실험실 고기', '합성고기' 등이 거론되고 있고 다른 이름은 도축이 불필요한 점, 환경에 책임감이 있는 점, 현재 광범위한 농업시스템에 대한 대안 등에 기초하고 있다.

한편, 연구자들의 견해에 따르면 소비자들의 배양육을 강하게 부정한다고 한다. 더우기, '배양'이라는 요어가 '인조'와 '실험실-생장'보다 더 싫어한다. Siegrict 등[26]의 연구에서 참가자는 배양육이 자연적이지 아니기때문에 배양육의 수용이 어렵다. 또한 그들은 배양육의 생산에 관한 정보를 알고 전통고

기의 수용이 더 증가하였다. Bryant 등[5], Siegrict와 Sutterlin [25]은 배양육이 덜 기술적일 때 수용성이 높았다. 이는 고도의 기술과정이 더 과학적이고 덜 자연적이어서 생산품의 이미지에 더 부정이라는 것이다. 실제로 소비자는 자연적이 아닌 식품을 싫어한다.

Verbeke 등[32]은 유럽 3개국에서 배양육에 관한 소비자들의 초기 반응을 조사하였다. 배양육에 관한 학습이 소화와 비자연성의 인지를 지지하였다. 소비자들은 처음에는 배양육으로부터 개인의 이익과 지구환경적 장점을 고려하였다. 배양육 섭취에 대한 위험성을 지적한 사람들은 비자연성과 장래 어찌될 지 모르는 불확실성을 지적하였다. 과학적 과정을 수용한 사람들은 생산품의 완전한 안정성을 조절할 수 있는 과정을 요구하였다.

배양육은 다른 새로운 기술처럼 윤리적 이슈를 피할 수 없다. 배양육 옹호론자에 따르면 이런 혁신의 주요 목적 중 하나는 동물 사육의 밀접환경과 비윤리적 조건에서 도축을 중지시키는 것이다. 또한 배터리식 양계장은 종종 질병, 감염, 사회적 문제를 야기한다. 세포를 얻기 위해 비록 동물의 생체절단이 동물복지에 이슈를 유발하기는 하지만 신경세포가 없는 배양육 세포는 이런 고통으로부터 자유롭다. 따라서 일부 과학자들은 이 새로운 인조고기를 채식제품으로 간주하기도 한다.

배양육의 목적은 전통적 목축보다는 동물을 덜 사용하는 것이다. 동물복지의 관점은 일부 채식주의자 비건에게는 매력적이고, 이런 것 저런 것 가리지 않는 사람들도 윤리적 이유로 고기 섭취를 줄인다. 죽은 송아지로부터 소혈청의 사용없는 새로운 배지가 발전된다면 앞서 언급한 많은 생각이 바뀔 수 있다. 실제로 일부 비건은 고기 맛때문에 동물 식품을 피할 수 있다. 또 일부는 잔인한 도축과 친환경적 요인으로 배양육을 먹을 것이다.

한편, 많은 과학자들은 인조육의 잠정적 윤리적 장점, 동물 복지, 영양관 관련된 질병, 식품 유래 질병, 자원의 사용, 온실가스 배출을 인식하고 있다. 다른 사람들은 앞서 논의한 것처럼 배양육 생산이 낮은 탄소발자국은 가질 것이라 확신하지 않는다. 그럼에도 불구하고 인조육에 가해지는 환경적 효과는 추론적 분석에 근거하기 때문에 평가하기 어렵다.

간단하지 않지만 고려해야 할 이슈는 있다. 예를 들면, 배양육인 단지 일부이지만 여전히 근육을 이용하고 있어 동물이 사용된다. 고통이 있든 없든 배양육의 세포 배양을 위해 동물이 사육되어야 한다. 결국, 실험실 고기는 동물 착취를 내포하고 있고, 어떤 착취가 인공 배양 고기를 피하기 위한 것인가를 고려해야 한다.

자연성

대량 목축 시스템은 사람들에게 잔인하다고 느낌을 주는 것은 사실이지만 실제로 세계 목축의 유의한 정도는 아니다. 특히 프랑스와 아프리카의 경우는 그러하다. 최근 연구에 따르면, 많은 연구자들이 지속가능한 증대와 농업생태가 생태적으로 낙후된 것에 대한 변혁, 공정사회, 경제적 축업시스템으로 집중될 것으로 보았다.

종교와 고기 소비

배양육은 다른 새로운 기술처럼 윤리적, 철학적, 종교적 의문을 유발하고 있다. 종교계는 막연한 상태에서 배양육이 코셔(소비가능한 유대교 음식법), 하랄(이슬람교 소비자를 위한), 의례적으로 현실(힌두교 소비자)인지 여전히 논쟁중이다.

유대교에 의하면, 율법학자의 견해는 나누어진다. 일부는 기원 세포가 도축된 교서 동물에서 취했다면 배양육을 교서의 일부로 간주할 수 있다. 다른 사람들은 세포의 근원에 관계없이 배양에 사용된 세포가 기원의 정체성을 상실했다고 본다. 따라서 결과는 소비를 위해 금지로 정의될 수 없다. 이슬람 사회에서는 배양육이 이슬람법에 의한 것인지 아닌지 매우 중요한 문제로 하랄인지 아닌지에 관해서다. 따라서 고기 배양은 최근 발명으로 전통적인 이슬람론자들은 무슬림에서 하랄 상태를 결코 논의한 적이 없다. 따라서 동시대의 이슬람주의자들은 이 문제를 떠안게 되었다. 배양육의 하랄 상태는 인조육을 배양하기 위한 세포와 혈액 배지의 원천을 동정하는 것으로부터 해결할 수 있다. 따라서, 배양육은 줄기세포가 하랄로 도축된 동물이고 혈액이나 혈청이 이 과정에 사용되지 않는다면 하랄로 간주한다. 실제로 고기가 혈청과 접촉으로 변하지 않았다는 것을 증명할 수 없다면 혈청은 피해야 한다.

결 론

2050년까지 인구증가에 의해 식품에 대한 요구 증대에 직면하여 FAO는 이에 부응하려면 지금보다 70% 이상 식품이 필요

할 것이라고 결론짓는다. 본 연구에서 축산시스템은 세계 글로벌 식품과 영양 안전의 접근에 필수불가결한 요소가 될 것이다. 그런데 환경과 동물복지 이슈의 비난을 피하기 위해 단백질 생산의 여러 효과적인 방법이 개발되고 있다. 이에 대한 방안중 하나로 적절한 배지에서 세포 근육을 배양하는 것이다. 가장 효과적인 것이 FBS를 함유한 배지이다. 이 배지는 영양분, 호르몬, 성장인자가 포함되어야 하는데 근육세포는 근육으로 증식되어 많은 양의 고기를 생산할 수 있다. 희망적인 것은 기술의 발달로 FBS는 적어도 실험실에서는 대체되고 있으나 산업수준까지는 이르지 못했다. 더우기, 호르몬 성장 프로모터는 유럽연합에서 전통적 고기 생산을 위해 전통적 축산 시스템을 방해한다. 이것은 여전히 문제이다. 그런데, 이 기술은 비조직화된 근섬유를 생산할 수 있으나 실제 근육과 거리가 있고, 다양한 종의 동물고기를 대체하는데 한계가 있다. 혈관과 혈액, 신경조직, 근육간 지질, 결합조직이 고기맛에 영향을 준다. 여러 채식고기 버거는 텍스처와 맛이 너무 똑같다는 지적일 받았다. 배양고기의 영양질은 이론적으로 생산을 위해 사용된 배지에서 지방 조성으로 조절할 수 있다. 이것은 축산고기에도 마찬가지로 새로운 전략인데 축산시스템으로 오메가-3 지방산 함량을 높이는 방법이다.

그런데 배양육에서 무지질 성분의 조절은 여전히 연구 대상이며 사람 건강에 대한 배양육 소비의 영향은 조심스럽게 체크되고 기술되어야 한다.

GHG에 관해 GHG배출에 대해 단지적이든 장기적이든 축산고기에 비해 실험실 배양육의 일치된 장점이 없다.

현재 높은 가격에도 불구하고 배양육의 생산비용은 점차 내려갈 것이다. 이것은 실험실 또는 배양고기 기술이라는 명칭을 강하게 부정에도 불구하고 소비자의 수용성에 도움이 될 것이다. 그런데 배양고기는 시장에서 이미 식품에 근거한 생산품이라고 선보인 다른 고기 대체육과 경쟁할 것이다.

윤리적으로 배양육은 전통적 축산보다 동물을 덜 사용하고 채식주의자와 비건에 인기를 끌 수 있다. 그런데 여전히 상당한 동물이 배양육을 얻기 위해 필요로 한다.

또한 종교계는 배양육이 고서인지 하랄인지 여전히 논쟁중이다.

결론적으로 배양육에 관한 연구프로젝트는 배양육으로서로서 한계점이 있고 아직은 초창기 단계이다. 이런 분야는 생산, 품질, 세포 분령의 효율성에서 새로운 발견과 진보로 진화하고 있다. 이런 과정이 인조고기가 전통적 고기와 고기 대체물을 증가시키는데 경쟁할 것이다.

The Conflict of Interest Statement

The authors declare that they have no conflicts of interest with the contents of this article.

References

1. Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J. M., Smith, P. and Haines, A. 2016. The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: a systematic review. *PLoS One* **11**, e0165797.
2. Ben-Arye, T. and Levenberg, S. 2019. Tissue engineering for clean meat production. *Front. Sustain. Food Syst.* <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00046>.
3. Bonny, S. P. F., Gardner, G. E., Pethick, D. W. and Hocquette, J. F. 2015. What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry? *J. Integr. Agric.* **14**, 255-263.
4. Bonny, S. P. F., Gardner, G. E., Pethick, D. W. and Hocquette, J. F. 2017. Artificial meat and the future of the meat industry. *Anim. Prod. Sci.* **57**, 2216-2223.
5. Bryant, C. J. and Barnett, J. C. 2019. What's in a name? Consumer perceptions of *in vitro* meat under different names. *Appetite* **137**, 104-113.
6. Capper, J. L. 2012. Is the grass always greener? Comparing the environmental impact of conventional, natural and grass-fed beef production systems. *Animals* **2**, 127-143.
7. Chriki, S. and Hocquette, J. F. 2020. The myth of cultured meat: a review. *Front. Nutr.* <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00007>.
8. Corson, M. and Doreau, M. 2013. Evaluation de l'utilisation de l'eau en élevage. *INRA Prod. Anim.* **26**, 239-248.
9. Doreau, M., Corson, M. S. and Wiedemann, S. G. 2012. Water use by livestock: A global perspective for a regional issue? *Anim. Front.* **2**, 9-16.
10. FAO. 2020. 2050: A third more mouths to feed. FAO 2021. www.fao.org/publications/fofa.
11. Fernandes, A. M., Fantinel, A. L., de Souza, Â. R. L. and Révillon, J. P. P. 2019. Trends in cultured meat: a bibliometric and sociometric analysis of publication. *Braz. J. Inf. Sci. Res. Trends* **13**, 56-67.
12. Gaydhane, M. K., Mahanta, U., Sharma, C. S., Khandelwal, M. and Ramakrishna, S. 2018. Cultured meat: State of the art and future. *Bio-manufact. Rev.* **3**, 1. doi: 10.1007/s40898-018-0005-1.
13. Gerber, P. J., Mottet, A., Opio, C. I., Falcucci, A. and Teillard, F. 2015. Environmental impacts of beef production: review of challenges and perspectives for durability. *Meat Sci.* **109**, 2-12.
14. Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. and Tempio, G. 2013. Tackling Climate Change Through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities, pp. 7-9. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Roma, Italy.
15. Hamdan, M. N., Post, M. J., Ramli, M. A. and Mustafa, A. R. 2018. Cultured meat in Islamic perspective. *J. Relig. Health* **57**, 2193-2206.
16. Hocquette, J. F. 2015. Is it possible to save the environment and satisfy consumers with artificial meat? *J. Integr. Agri.* **14**, 206-207.
17. Kümmerer, K. 2003. Significance of antibiotics in the environment. *J. Antimicrob. Chemother.* **52**, 5-7.
18. Mottet, A., De Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C. and Gerber, P. 2017. Livestock: on our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Glob. Food Secur. Agric. Policy Econ. Environ.* **14**, 1-8.
19. Oliver, S. P., Murinda, S. E. and Jayarao, B. M. 2011. Impact of antibiotic use in adult dairy cows on antimicrobial resistance of veterinary and human pathogens: a comprehensive review. *Foodborne Pathog. Dis.* **8**, 337-355.
20. Petetin, L. 2014. Franken burgers, risks and approval. *Eur. J. Risk Regul.* **5**, 168-186.
21. Post, M. J. 2012. Cultured meat from stem cells: challenges and prospects. *Meat Sci.* **92**, 297-301.
22. Post, M. J. 2014. Cultured beef: Medical technology to produce food. *J. Sci. Food Agric.* **94**, 1039-1041.
23. Schneider, Z. 2013. *In vitro* meat: space travel, cannibalism, and federal regulation. *Houst. Law Rev.* **5**, 991. <https://houstonlawreview.org/article/4067>.
24. Shahidi, F. 2012. *Flavor of Meat and Meat Products*. Springer Science & Business Media, pp. 4-37, Springer, US.
25. Siegrist, M. and Sütterlin, B. 2017. Importance of perceived naturalness for acceptance of food additives and cultured meat. *Appetite* **113**, 320-326.
26. Siegrist, M., Sütterlin, B. and Hartmann, C. 2018. Perceived naturalness and evoked disgust influence acceptance of cultured meat. *Meat Sci.* **139**, 213-219.
27. Slade, P. 2018. If you build it, will they eat it? Consumer preferences for plant-based and cultured meat burgers. *Appetite* **125**, 428-437.
28. Specht, L. 2019. An Analysis of Culture Medium Costs and Production Volumes for Cell-Based Meat. <https://www.gfi.org/files/sci-tech/cleanmeat-production-volume-and-medium-cost>.
29. Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. and de Haan, C. 2006. Livestock's Long Shadow. <http://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm>.
30. Tobler, C., Visschers, V. H. M. and Siegrist, M. 2011. Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors. *Appetite* **57**, 674-682.
31. Van der Weele, C., Feindt, P., Jan van der Goot, A., van Mierlo, B. and van Boekel, M. 2019. Meat alternatives: an integrative comparison. *Trends Food Sci. Technol.* **88**, 505-512.
32. Verbeke, W., Marcu, A., Rutsaert, P., Gaspar, R., Seibt, B. and Fletcher, D., et al. 2015. Would you eat cultured meat?: consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. *Meat Sci.* **102**, 49-58.
33. Warner, R. D. 2019. Review: Analysis of the process and drivers for cellular meat production. *Animal* **13**, 3041-3058.
34. Waughray, D. 2018. Meat: the future. Time for a protein portfolio to meet tomorrow's demand - A White Paper. Retrieved on 18 July 2019 from <https://www3.weforum.org/docs>.
35. Xu, J., Towler, M. and Weathers, P. J. 2016. Platforms for plant-based protein production, pp. 1-40. In: Pavlov, A. and Bley, T. (eds.), *Bioprocessing of Plant In Vitro Systems*. Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32004-5-14-1>.

초록 : 배양육이란 무엇인가?

허만규*

(동의대학교 식품공학과)

2050년에는 증가하는 인구의 수요를 충족시키기 위해 70%의 식량이 더 필요할 것이다. 해결책 중에서는 배양육이나 청정육이 소비자를 위한 지속 가능한 대안으로 제시되고 있다. 과학자들은 줄기세포와 조직 공학 분야에서 축적된 지식과 도구를 세포 기반 고기의 개발에 활용하기 시작했다. 배양육은 몇 개의 세포로 가축 근육의 복잡한 구조를 재현하는 것이다. 세포는 배양 배지에서 배양된 후에 분열되기 시작할 것이며, 이것은 영양소와 호르몬 그리고 성장 요인을 제공한 것이다. 배양육은 도살되지 않는 것을 목표로 하기 때문에 이러한 종류의 배양에 대한 첫 번째 문제는 혈청이다. 그래서 죽은 송아지의 피로 만든 매개체를 사용하는 것은 모순이다. 그 혈청은 고가인데 배양육 생산 비용의 상당 부분을 차지한다. 배양육의 안전과 관련된 긍정적인 측면은 밀폐된 공간에서 사육되고, 비인도적 도살되는 동물로부터 생산되지 않아 발병 위험이 없어지고 예방접종, 윤리적 이슈가 필요 없다는 점이다. 배양육의 생산은 환경 친화적인 것으로 제시되는데, 이는 기존의 육류 생산에 비해 온실가스를 덜 생산하고 물을 덜 소비하며 땅을 덜 사용하게 되어 있기 때문이다. 이 진전이 기존의 육류 및 육류 대체물과 비교하여 인공 육류가 경쟁력을 갖기에 충분한지 지켜볼 일이다.