

대체단백질식품 생산 기술 동향

Current Status of Technologies for Producing Protein Alternative Foods

박성권(Sungkwon Park)

세종대학교 식품생명공학부

Department of Food Science & Biotechnology, Sejong University

I. 서론

우리 인체는 성장과 항상성 유지를 위해 적절한 단백질 공급을 필요로 하고, 체내에서 합성하지 못하는 필수 아미노산은 반드시 식품을 통해 공급되어야 한다. 인체 내 단백질과 유사하여 체내에서 활용이 잘 되는 동물성 단백질, 즉 육류는 우리 인체에 꼭 필요한 단백질 공급원으로써 세계적으로 매년 소비량이 증가하고 있는 추세이다. 이는 육류의 영양적인 이유 외에도 경제성장에 따른 식품기호성의 변화에도 기인하는데, 우리나라의 경우도 지속적인 육류 소비량 증가 추세를 보이고 있다. 식단이 서구화되면서 고기 소비량이 가파르게 늘어 1980년 1인당 연간 11.3kg였던 소비량은 해마다 1kg이상 증가해 현재 51kg이 넘는 실정이다. 영양적인 면 외에도 세계인구가 증가함에 따라 육류소비가 증가하는 하는 추세를 보이고 있다. 2020년 Population Reference Bureau[1]에 따르면 전세계인구가 78억 명에서 2050년 99억 명에 이를 것으로 예상되고, 이에 따라 식량, 특히 축산물의 수요는 약 5.5억 톤이 증가할 것으로 전망하고 있다. 전통축산의 한정된 자원을 활용하기에는 인구나 육류에 대한 기호성 변화에 따른 증가량을 감당하기 어려운 상황이다.

뿐만 아니라 축산으로 인한 지구온난화에 미치는 영향도 제기되고 있는데, 육류 1kg 생산 시 쇠고기의 경우 14.8kg, 돼지와 닭은 3.8kg과 1.1kg의 이산화탄소를 배출하는 것으로 알려졌다. 가축생산을 위해 전 세계이용가능 농지의 70%가 사용되고 있으며, 육류 1kg을 생산하기 위해 곡물 약 6kg이 사용되고, 음수와 분뇨처리를 위해 약 15,000L의 물이 축산에 소비되고 있다[2]. 생산성 증대를 위해 끊임없는 발전과 함께 규모화 된 축산은 환경에 부하를 걸고 지속가능성에 대한 의구심을 불러일으키고 있다. 또한 반려동물에 대한 수요가 증가하고, 동물복지에 대한 관심이 많아짐에 따라 가축을 도살하는 문제와 더불어 동물성 성분에 대한 거부감 또한 커지고 있다. 최근 조류인플루엔자, 광우병, 아프리카돼지열병, 구제역 등 가축질병도 빈번히 발생하여 질병에 대한 우려 또한 확대되고 있다. 이에 국제적으로 중국, 덴마크 등은 육류세를 부과하는 등에 대한 법적인 부분을 검토하고 있으며, 파리 기후협정과 관련하여 하버드대, 뉴욕대, 인도공대, 오레곤주립대 등의 50여 명의 과학자들은 영국의 과학학술지 램스플래니터리헬스에 각국

*Corresponding author: Sungkwon Park

Professor, Department of Food Science & Biotechnology, Sejong University, Seoul 05006, Korea

Tel: +82-2-3408-2906

Fax: +82-2-3408-3941

Email: sungkwonpark@sejong.ac.kr

지도자들에게 전하는 서한을 게재하고 다가오는 피크미트 사태를 경고한 바 있다[3].

가축생산의 환경적 여건 외에도 건강/종교에 대한 관심 고조, 다이어트 유행, 세계 유명 인플루언서들의 채식주의 선언 등 사회 전반적인 여건과 소비자 트렌드가 대체식품에 대한 니즈를 반영하고 있다. 또한 웰빙과 로하스 열풍으로 인해 가급적 육류섭취를 줄이는 현상이 나타나고, 건강식단에 대한 관심이 높아지면서 대체육류 시장이 급속하게 성장하고 있다. 관련 업계에 따르면 2002년 40만 명에 불과하던 소비인구가 현재는 100만 명 이상으로 늘어났고, 시장규모도 3배 이상 커진 것으로 추산되고 있다. 이에 따라 경제계 유명 인사들의 R&D 투자도 눈에 띄게 늘어나고, 하루가 다르게 발전하는 'Food-tech'을 무기로 한 스타트업기업들의 연구사업 활동이 뉴스와 언론에 보도되고 있다.

이러한 기초를 타고 증가하는 육류소요와 전통축산의 한계를 극복하고자 대체단백질 소재가 등장하고 있는데, 특히 자원 활용성과 지속가능성 등의 이점을 내세운 식물성 대체식품과 배양육에 대한 관심이 고조되고 있다. 식물성 대체식품의 경우 높은 단백질 함유량 및 지속가능성과 더불어 안전성이 검증되었고, 낮은 가격으로 높은 시장적용 가능성이 예상되나, 기존 육류와의 유사도에서 많은 보완이 필요한 실정이다. 이에 비해 안전성 검증은 필요하나, 동물단백질원인 세포를 배양하여 만드는 배양육의 경우 지방산과 철분함량을 조절하여 기존 육류의 유사도를 높일 수 있다는 장점을 필두로 연구개발이 상승세를 타고 있다. 이러한 대체식품시장의 성장추이를 보면 2018년 기준 96억 달러에서 2019년부터 평균 9.5%씩 증가하여 2025년에는 178억 달러에 이를 전망이다[4]. 그중 식물성 단백질이 가장 큰 비중을 차지하지만, 성장률에서는 배양육으로 19.5%로 더 높게 예측되었다. 농업경제연구원에 따르면 육류소비는 매년 3%씩 증가하여 2025년 1조2천억 달러에서 2040년 1조8천 달러로 상승이 예상되나, 기존 육류 감소세 및 배양육과 식물기반 대체단백질의 성장세가 이어져 2040년 육류, 배양육, 식물기반대체육의 시장비율이 각각 40, 35, 25%로 형

성될 것이라고 예상하였다[5]. 본 산업지에서는 큰 성장세를 보일 것으로 예상되는 배양육과 식물성 대체식품의 시장현황과 관련소재, 연구개발 수준에 대한 고찰을 통해 향후 대체식품의 발전방향에 대해 논의해 보고자 한다.

II. 대체단백질의 정의

1. 배양육

배양육은 동물 유래 세포를 이용하여 실험실에서 배양을 통해 살코기형태로 만드는 것을 일컫는다. 가축을 사양할 때 발생하는 여러 환경문제 없이 가장 유사한 형태로 식육을 생산할 수 있는 동물성 대체단백질이다. 생산소요 자원이나 점유 면적의 감소 및 동물복지 개념으로 도살과정이 없어 식육섭취를 제한하는 채식주의자나 종교인 또는 우주식으로 사용이 가능할 것으로 예상된다. 배양육이 유일한 동물성 단백질 기반 대체식품이긴 하지만, 가축에 의해 만들어진 것이 아니기 때문에 그 정의와 명칭에 대한 논란이 많다. 대체단백질, 가짜고기, 인공육, 인공단백질, *in vitro* meat, synthetic meat, cultured meat, slaughter free meat, lab grown meat, cell based meat, clean meat, advanced meat, future meat, bio-artificial meat 등 무수히 많은 명칭들이 사용되고 있다[6]. 배양육에 대한 소비자의 인식과 내포되어 있는 여러 기술적-소재적인 관점에서 인공적인 이미지에 대한 우려와 함께 안전성에 대한 확보방안도 반드시 규정되어야 할 부분이라 사료된다. 빠르게 발전하고 있는 food-tech을 이용하여 새로운 식품패러다임을 구축하는데 있어 기존 축산업과의 이해관계 또한 풀어야 할 숙제이다.

2. 식물성 대체식품

식물성 대체식품은 식물유래 단백질 소재와 그의 가공식품을 말하며 콩과 같은 단백질 함량이 높은 곡물을 이용하여 육류의 맛과 식감을 모방하여 고기의 향과 맛,

색을 만들어낸다. 하지만 식물성 대체식품은 풍미와 조직감 등에서 기존 축산을 통해 생산된 식육에 비해 관능적 품질이 떨어져 첨가제 및 가공적성에 있어 보완이 필요한 실정이다. 농촌경제연구원 조사에 따르면 대체식품 섭취 경험이 있는 소비자를 대상으로 불만족 이유에 대한 의견수렴 결과, 맛과 식감에 대한 부분이 가장 크고 향미와 위생, 안전성 순으로 나타났다[5]. 미국도 마찬가지로 식물기반 대체식품의 구입의사를 결정하는 것은 맛이 중요한 요인이라고 조사되었다[7, 8].

3. 대체단백질의 장단점

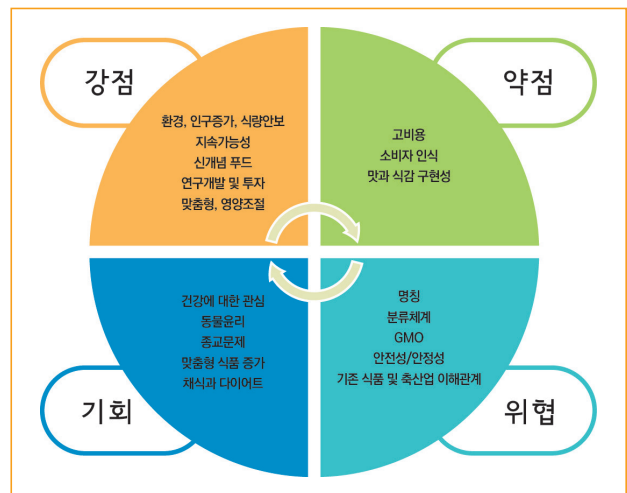
전통적인 가축의 사육을 통해 생산되는 식육과는 달리 식물성 대체식품은 식물유래 단백질을 이용함으로써 동물복지 문제가 없고 자원사용이나 온실가스 배출량이 상대적으로 감소하는 장점이 있다. 또한 저렴한 가격으로 높은 단백질을 공급할 수 있고, 안전성 또한 검증된 상태다. 하지만 기존 육류와의 유사도 측면에서는 아직까지 많은 발전이 필요한 부분이다. 특히 풍미와 조직감에서 식육에 비해 관능적 품질이 떨어져, 이를 극복하기 위해 부재료나 식품첨가물이 쓰이게 되는 경우가 있는데 이로 인해 칼로리나 포화지방산 함량 등 영양학적 특성이 식육에 비해 떨어질 수 있는 가능성도 배제할 수 없다.

배양육은 전연한 바와 같이 동물조직의 배양과정을 거쳐 고기를 생산하는 것으로 자원사용이나 온실가스배출량을 감소시킬 수 있고, 도축과정이 없어 동물복지 문제도 해결 가능하다. 또한 배양과정에서 지방산 조성 및 철분을 포함한 영양성분을 조절할 수 있고, 기존 육류와의 유사도 또한 증가시킬 수 있는 장점도 있다. 그러므로 동물복지와 가축질병에 대해 소비자의 긍정적인 호응이 기대되고, 영양성분 조절을 통한 개인 맞춤형 식품 제조가 가능하여 향후 기존 축산을 통한 식육생산과 상호보완적 공급시스템으로 발전할 수도 있을 것이라 사료된다. 배양육은 동물성 단백질 기반 식품으로 지속가능하며 안전한 시스템을 이용하여 질감, 조성, 향미조절이 가능하고, 질병제어가 용이하며, 가축의 열악한 생존 조

건이 감소되는 등 타 대체육류에 비해 큰 잠재력을 나타내고 있다. 또한 희귀하고 이국적인 육류형태로 생산이 가능하여 새로운 제품에 대한 소비 창출이 비교적 쉽다. 하지만 안전성에 대한 검증이 필요하고, 배양육 생산 관련 여러 기술이 아직 미비하고 가격경쟁력에 대한 보완이 필수적인 상황이다.

이러한 대체 식품의 강약점과 기회 및 위협요소를 살펴보면 강점으로는 환경문제와 식량안보에 대한 경각심이 높아지고 있는 상황에서 지속가능성을 고려하여 대체식품에 대한 관심이 높아지고 있다(그림 1). 따라서 신개념 푸드에 대한 연구개발 및 투자가 활발하다. 또한 대체식품은 생산과정에서 영양조절이 용이하여 맞춤형 푸드 개발에 장점이 있다. 사회 전반적으로 동물윤리와 건강에 대한 관심과 채식, 다이어트, 맞춤형 식품, 가정 간편식에 대한 니즈가 커지고 있다. 종교, 윤리, 심리적으로 대체식품에 대한 기호도가 높아지고 있다. 하지만 몇몇 대체식품의 경우, 생산비용이 매우 높고 맛과 식감의 구현성이 낮을 뿐 아니라, 인공적 이미지에 대한 소비자의 인식개선이 필요하다. 또한 배양육의 경우 현재까지도 그 명칭과 분류체계에 대한 논란이 끊이지 않고 있고, GMO와 안전성 등 해결해야할 부분이 남아 있다. 가장 큰 위협요소로는 기존 식품과 축산업과의 입장차와 이해관계에 대한 정리가 되겠다. 대체식품의 생성근거

그림 1. 대체식품의 SWOT 분석



와 시장개척에 대한 적절성, 특이점 등에 대한 입장정리가 하루 속히 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한 대체식품 특히 배양육에 대한 규제와 관리방안 등도 해결해야 될 사안이다.

III. 대체단백질 연구 현황

1. 배양육

세포배양육(cell-cultured meat)은 1995년 미식품의약품안전청(FDA)의 승인 이래 2019년 FDA와 미농무성(USDA)이 공동으로 세포배양육에 대한 공동규정을 마련한바 있다[9]. Tyson Foods, Cargill, PHW group, Memphis Meat 등 세계적 축산계열화 기업과 Microsoft, Virgin group 등이 배양육 연구에 적극적인 투자를 하고 있다. 2013년 설립된 네덜란드의 Mosa Meat은 Belgian Blue 품종의 세포를 배양하여 2013년 8월 세계 첫 배양육을 출시, 소고기 패티형태로 시식을 진행한바 있다. 2015년 설립된 Memphis Meats사는 카길, 타이슨푸드, 빌게이츠 등으로부터 약 186백만 달러를 투자받아 2016년 배양육 미트를, 2017년에 배양육 치킨을 개발하였다. 미국의 JUST사는 2011년 설립되어 2017년부터 계속개발에 참여하였고, 2020년 싱가포르에 자회사를 설립(Shiok Meat)하여 배양새우가 첨가된 제품과 앤츠이노베이트(Ants Innovate)사의 배양육 스낵에 대해 세계 최초로 식품으로 판매 허가를 승인하였다. 미국의 블루날루(Blunalu)는 2018년에 설립하여 피쉬볼과 해산물을 개발하여 2020년 부시리 배양육의 시식회를 진행하였다. 이스라엘의 알레프 팜스(Aleph Farms)는 'Aleph Zero'라는 프로젝트를 통해 3D 기술을 소 배양육 개발에 도입하였다. 일본의 인테그리컬쳐사는 조직배양을 통해 푸아그라를 제조하여 2021년에 푸아그라, 2030년 소고기 배양육의 시판화를 목표로 하고 있다. 닛신식품 홀딩스는 2019년 콜라겐 젤을 이용하여 식육과 유사한 식감의 배양육 제조에 성공하였다. 그 외에도 BioFood, Meatable, Avant, Clearmeat, Fork&Goode,

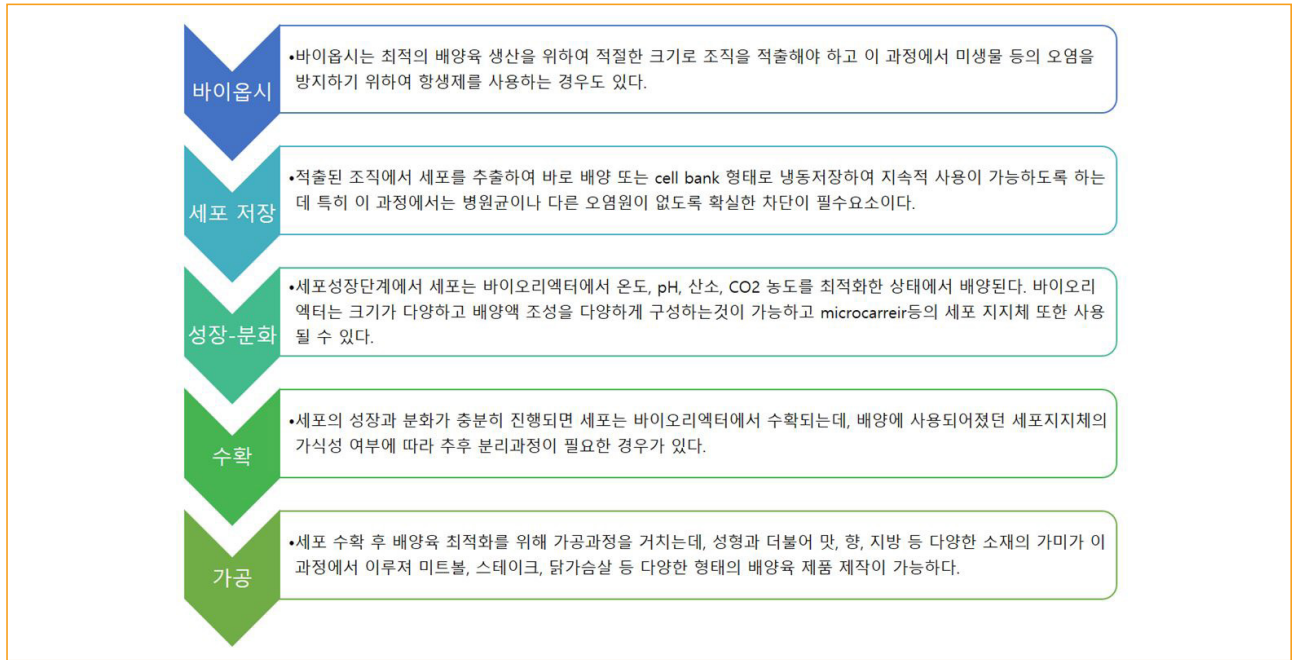
CUBIQ Foods, bifteck.co, Future Fields, Wild Type 등의 스타트업 기업들이 설립되고 있다. 국내의 경우, 배양육 생산연구는 아직 초기단계로 최근 셀미트, 노아, 다나그린, 씨위드, 스페이스에프 등 많은 스타트업 기업들이 설립되어 연구개발을 진행하고 있다.

배양육 생산을 위해서는 근육세포를 토대로 식육의 풍미와 질감을 구현할 지방, 신경, 결합조직의 배양, 세포외 기질 구성 및 다양한 첨가물의 개발이 필수적이다. 현재 대부분의 연구는 근육세포의 효율적인 분리와 대량 배양에 초점이 맞추어져 있다. 근육조직을 생검법(바이옵시)을 이용하여 가축에서 채취하여 근육줄기세포를 분리하고, 동결보존 후 초대배양을 통해 초기 세포수를 확보한 다음 대량배양으로 양을 늘리고, 분화와 성숙 과정을 거쳐 수확한 후 가공단계를 거쳐 제품화된다(그림 2). 근육 채취 시 고려할 사항은 가축의 품종, 연령, 성별, 그리고 부위 등이 있는데, 근육세포의 분리와 수확 및 성장분화 증진을 위해 적절한 마취 등 적절한 조치 또한 필수적이다[9]. 배양육의 경우, 소, 돼지, 닭, 오리 등 다양한 축종을 이용하여 다양한 배양육 형태의 생산이 가능할 것으로 사료된다. 근육세포를 조직으로부터 추출하여 동결보관 시 세포의 계대배양에 따른 빠른 성장분화 및 향후 배양육 생산에 있어 일관성이 보장되어야 된다. 근육세포의 성장 분화는 초대배양을 통해 세포의 수를 증식한 후 바이오리액터에서 대량배양과정을 거치게 되는데, 종류별 세포에 대한 최적화 작업이 필수적이다. 이 과정에서 세포 증식 표면적 확보를 위해 다양한 형태와 소재로 만든 세포지지체가 사용될 수 있다. 세포의 분화 및 성숙이 완료되면 비가식 소재의 지지체의 경우 효소처리를 통해 세포와 분리하여 원심분리를 통해 수확한다. 배양을 통해 얻어진 세포는 그 형태와 식감, 맛, 향이 축산으로부터 생산된 식육과 다르기 때문에 가공을 통해 형태와 맛, 조직감을 구현할 필요가 있다.

〈기술 및 시장 현황〉

현재 의료 또는 생명공학 관련 세포배양 기술을 보급

그림 2. 배양육 제작 과정



되어 있으나, 배양육 생산을 위한 입체 또는 조직 배양 기술은 초기단계이고, 국내에서 쇠고기를 대상으로 한 연구가 진행되고 있다.

과학기술정보통신부에서 수행한 정부 R&D 연구방향 조사 결과, 배양육 등 미래대체식품개발 연구가 늘어날 것으로 전망하였다. 사람에서는 중간엽 줄기세포를 혈청과 텍사메타손, 히드로코르티손이 포함된 배지에서 배양한 결과, 근조직 특성을 나타냄을 확인하였고, 제대혈 유래 줄기세포가 근원성 세포로의 분화가능성이 제시되었다 [10]. 줄기세포의 근육 분화에 관한 연구는 계속적으로 진행 중이나, 쥐나 인간을 대상으로 한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 생쥐 배아 줄기세포의 배상체(embryoid body)를 통한 분화 방법에서 근원성 세포특이적 인자 발현이 밝혀졌고[11], 생쥐 배아 줄기세포와 역분화 줄기세포에 골격근 생성에 필수적인 인자인 Pax3와 Pax7의 유도를 통한 골격근으로의 분화에 대한 결과가 발표되었다[12]. 인간 배아 줄기세포의 배지에 각질세포 성장인자(keratinocyte growth factor)와 레티노산(retinoic acid)을 첨가하여 β ·pancreatic 세포로 분화된 결과가 발표되었고[13], 생쥐 배아 줄기세포와 근원

세포(myoblast)가 공배양되었을 때 근관(myotube)이 형성되었지만, 효율이 매우 낮고 근원세포 적응용 배지(conditioned medium)를 사용하였을 때 근관 형성률이 높아짐이 확인된 바 있다[14]. 또한 성장인자의 첨가를 통해 glycogen synthase kinase 3b (GSK 3b)을 억제하고, 근원성 세포특이적 유전자인 Pax7의 발현이 나타난 결과도 보고되었다[15]. 현재까지 보고된 체외에서의 지방 분화의 경우, 중간엽 줄기세포로부터의 분화 정도만 보고되어 있다. 지식재산권의 경우, 현재 국내 줄기세포의 근육 및 지방 분화에 관한 특허는 의학계에서 인체 유래 조직 및 세포를 중심으로 출원되고 있는 실정이다. 2006년에 중간엽 줄기세포 배양 배지 및 이를 이용한 중간엽줄기세포의 배양 방법이 출원되었으며, 기본 배지 및 제대혈 혈청을 포함하는 중간엽 줄기세포의 배양 배지와 배양하는 방법 및 획득하는 방법에 대한 내용을 포함하고 있다. 또한 줄기세포의 전 분화능 유지용 조성물과 배아줄기세포의 중배엽 세포로의 분화유도용 조성물 및 생산 방법이 제시된바 있다. 해외에서도 대부분의 줄기세포에 관한 특허는 의학계에서 인체 유래 조직 및 세포를 중심으로 출원되고 있는데, 조직 공학을 위한 골

격근 배양 방법 및 근육 세포의 배양 가용 수명을 길게 하기 위한 영양 배지 조성과 배양 방법에 대한 내용들이 포함된다.

MBG 기업부설연구소에서는 버섯농축액과 배양액을 이용한 패티제조방법 특허를 통해 버섯을 이용한 세포 배양으로 배양육을 생산하는 방법을 제시하였다[16]. 미국의 경우, 1995년 미 식품의약품안전청에서 배양육 사용을 처음으로 승인하였다. 이어 1999년에 네덜란드 Amsterdam 대학교의 Willem Van Eelen이 배양육에 대한 이론을 대상으로 국제 특허를 획득한 후, 2002년 금붕어에서 유래한 세포 배양 기술을 확립하였다. 2002년 식용 가능한 첫 번째 배양육으로서 생선 필레 수준의 칠면조 고기가 생산되었고, 2013년 네덜란드 Maastricht 대학교의 Mark Post 연구팀이 소 줄기 세포를 이용한 근육 조직을 배양하여 소고기 패티의 형태로 시식을 진행하였다. BBC 뉴스를 통해 해당 연구팀은 현재 지방, 뼈, 피 등을 생산하는 연구 또한 함께 진행하고 있다고 밝힌 바 있다[17]. 이어 2017년에는 미국 Memphis Meats 회사에서 닭고기 배양육 생산에 성공하여 시식을 진행하였다.

배양육 시장은 국내의 경우 육류소비량은 계속 증가하고 있고, 특히 삼겹살이나 목살의 경우 국내 수급 부족으로 다른 부위에 비해 가격이 비싸고 상당량 수입에 의존하고 있는 실정에 비추어 볼 때 배양육시장의 전망도 밝을 것으로 예상된다. 이에 따라 큰 식육회사인 타이슨, 카길 등에서도 배양육산업에 많은 투자를 하고 있고, 세계동물보호단체와 네덜란드 정부에서 초기 배양육 연구를 위한 예산을 지원하는 등 많은 투자가 이어지고 있다. 소비자 선호도 분석 결과, 채식주의자들에서 배양육에 대한 선호도가 높은 것으로 나타났다. 호주 Queensland 대학교 연구팀의 결과에 따르면 미국인 673명을 대상으로 한 설문조사에서 응답자의 65.3%가 배양육을 먹어볼 의향이 있다고 나타나, 배양육에 대한 반응이 긍정적인 것으로 판단되어진다. 우리나라에서도 도살하지 않고 배양해 먹는 배양육의 상용화에 대한 기사와 더불어 아프리카돼지열병이 줄어들고, 보

다 친환경적인 장점을 필두로 관련 스타트업 기업에 대한 보도가 눈에 띄게 늘고 있다. 소비자 조사에서도 배양육에 대한 찬반이 여전히 논란이지만, 찬성의 목소리도 커지고 있는 추세이다. 미국의 Good Food Institute에서는 배양육 명칭에 대한 내용으로 소비자(1,018명) 조사를 하여 Meat2.0, cultured meat, pure meat, safe meat, clean meat 등에 대한 선호도를 조사한 결과, lab-grown meat으로 표기가 35%로 가장 높게 나왔고, artificial meat(34%), meat 단어 제외 표기(18%), animal free meat(16%), cultured meat(11%), clean meat(9%), in vitro meat(8%), 잘 모른다(8%)로 나타났다.

2. 식물성 대체식품

〈연구현황〉

최근 건강과 지구환경오염에 대한 관심이 고조되면서 동물성 고기대체 식물성 또는 곰팡이 유래 단백질을 이용한 유사고기 생산에 대한 관심과 연구가 증가하고 있다. 식품가공기술이 발달함에 따라 단백질 함량이 높은 식물 중 대두, 완두, 강낭콩, 보리, 밀, 쌀, 견과류 등을 이용하여 고기의 맛과 질감을 갖춘 여러 제품들 개발되고 있다. 이중 밀가루의 글리아딘과 글루테닌에서 추출한 글루텐과 대두 단백질을 이용한 밀고기, 콩고기 등이 있는데, 콩고기의 주원료로는 대두, 대두분말, 대두 단백질과 탈지대두 등으로 만든 조직화 대두단백(TVP, texturized vegetable protein)과 농축대두단백, 대두분리단백 등의 대두단백질 분리 추출물과 완두로부터 추출하고 있으며, 렌틸콩, 병아리콩 등 콩류를 비롯하여 해조류, 미생물 등 다양한 원료를 이용하려는 시도가 계속되고 있다(표 1).

식물성 대체식품의 핵심과정은 식물로부터 추출한 단백질을 조직화한 식물성조직단백, 즉 TVP 생산이다. 고수분 압출성형공정(extrusion) 기술이 가장 보편적으로 쓰이고 공정조건을 변경하여 소, 돼지, 닭, 생선 등과 유

표 1. 식물유래 단백질 재료 및 특성

재료명	주원료	특성
대두분리단백질	대두	단백질 함량 85% 이상으로 아이소플라본을 함유하는 고단백질 공급원으로 소시지, 치킨가슴살 및 너겟, 식물성 슬라이스 햄등에 사용
조직화대두단백	대두	탈지대두를 사용하여 압출기로 다양한 모양으로 성형한 것으로 बे지버거, 미트, 소시지, 치킨너겟 햄볼 등에 사용
글루텐(saitan)	밀	생글루텐(활성글루텐), 분말글루텐, 결합력이 강하여 쫄깃한 식감을 내는 특징이 있어 밀고기, बे지버거, 미트 등에 사용
완두	완두콩	단백질 함량 25%이고, GMO와 글루텐으로부터 자유로우나, 식감이 떨어지는 단점이 있음
Quorn	버섯	Mycoprotein으로 영국에서 많이 제조되고, 단백질함량이 높은 반면 저지방으로 생산과정이 까다로운 특징이 있고, 버거류, 소시지, 그릴 등에 사용
스피루리나	조류	영양성분이 매우 우수하나, 향과 맛이 좋지 않음

사하고 다양한 식감의 식물성 대체식품이 생산되고 있고, 이를 최적화하기 위한 연구가 수행되고 있다[18].

1990년대 수행되었던 수분 고 함유 압출 방식에 대한 연구가 고기 질감을 재현하는 단백질 식품의 조직감 연구의 기초가 되었고, 이 공정으로 섬유상의, 고기같은 구조(육고기와 비슷한 수준의 수분함량)와 질감과 식감의 재현이 가능하게 되었다. TVP의 원료를 170C로 녹여 압력으로 눌러 뽑아내는 방식인데, 압출구의 모양과 압력, 온도에 따라 다양한 조직감을 만들 수 있다. 최근 3년간 연구결과를 보면 유지작물, 두과작물, 화본과작물 및 곰팡이, 곤충으로부터 단백질 추출, 가공, 물리적 특성 등에 대한 기술개발이 상당히 진전되었음을 알 수 있다. 또한 단백질 추출기술의 발달로 비영양 성분이나 페놀성분을 제거하여 품질이 우수한 단백질만 얻을 수 있는 기초기술 개발로 쌀과 버섯을 이용한 식물성 고기제품(쌀너비아니, 쌀완자, 쌀소시지, 쌀까스 등)과 대두, 우엉, 견과류를 반죽한 콩고기가 개발되어 맛과 씹힘성 등 전체적인 기호도가 향상되고 있다. 식물에서 추출된 단백질, 비타민, 아미노산, 지방, 기타 영양소를 결합해

대체고기 생산기술 확보를 위한 시도가 계속 진행 중에 있고, 캐놀라/유채, 옥수수(zein), 병아리콩, 곤충 유래 단백질 또한 인조고기를 만들 수 있는 유망한 재료로 활용 가능성이 충분할 것으로 여겨진다.

〈기술 및 시장 현황〉

아시아는 두부와 템페를 수 세기 전에 만들어 먹기 시작했으나, 서구사회에서는 1960s 이후 비교적 최근에 발달하기 시작하였다. 최근 들어 세계적으로 채식인구는 2억명에 육박하고 있고, 전연한 바와 같이 건강, 종교, 환경오염 및 동물복지에 대한 인식증가 등 여러 요인에 기인하며, 세계적으로 그 숫자가 늘고 있는 추세이다. 또한, 광우병과 구제역, AI 등 동물질병의 유행으로 인한 불안심리와 웰빙(well-being), 로하스(LOHAS)의 개념에 대한 관심이 고조됨에 따라 식물성 대체식품에 대한 수요가 증급하고 있는 추세이다. 미국의 글로벌마켓(global news.com)에서는 대체고기 시장규모가 년 8.2%씩 성장할 것으로 예상되고 있고, 유럽을 선두로(약 39% 차지), 인도, 대만을 비롯한 아시아와 호주, 뉴질랜드, 미국 등 전 세계적으로 증가추세는 확산되고 있다.

현재 가장 많이 사용되고 있는 식물성 단백질 제조 원료는 완두콩, 콩, 밀 세 가지인데, 각각의 한계점으로 콩과 밀은 가장 흔한 알레르기 유발 물질을 포함하고, 완두 단백질은 알레르기위험은 낮지만 소화 어렵다는 단점이 있다. 이렇듯 식물성 대체식품의 재료에 대한 연구주제는 성분에 대한 내성(intolerance)과 알레르기(allergy)를 중심으로 가공방법에 따른 맛과 영양성분, 특정 기술에 기능성을 나타내는 새로운 단백질 원료 탐색 및 포뮬레이션 개발을 통해 식육과 같은 특성과 식감을 내는데 초점을 두고 있다. 최근 발표된 캐놀라 단백질로 알려진 유채 단백질에 대한 연구결과에 따르면 유채단백질을 섭취할 경우 콩 단백질과 유사한 신진대사 효과가 있으며, 포만감을 잘 느끼게 하고 겨자맛을 내는 등 새로운 맛이 요구되는 식물성 대체식품에 응용가능성이 있을 것으로 사료된다[19].

식육을 대체하기 위해 제조되는 식품으로는 두부, 템

페, 세이탄 등이 알려져 있다. 콩으로 생산하는 두부는 고기대체제로서 가장 잘 알려져 있고, 단백질, 칼슘, 철분의 좋은 공급원으로 양념장, 소스, 다른 드레싱의 향기와 잘 흡수되며, 손쉽게 이용되는 장점이 있다. 템페는 인도네시아의 발효식품으로 청국장과 비슷하지만 단단하고 모양은 두부, 맛은 견과류, 버섯과 유사하다 [20]. 세이탄은 밀의 글루텐을 이용하여 만든 식물성 고기로 영국에서 많이 사용되고 있는데, 대표적으로 버거, 파이, 소시지 등이 Linda McCartney's사에서 만들어지고 있다.

비동물유래 단백질 공급원은 콩, 두류, 유지작물, 밀, 호밀, 보리, 미생물(*Fusarium venenatum*) 등이 포함되고[21-25], 콩에서는 베타 콘글리시닌, 글리시닌, 비실린[26], 유지작물에서는 리구민, 알부민, 글로블린, 글루텔린[27]이, 밀에서는 글루텔린과 글루텐, 글라이딘, 글루테닌[28]이, 미생물에서는 mycoprotein이 생성되어진다[29]. 콩단백질은 콩가루 50%, 콩 농축 단백질이 70%, 콩 분리단백이 90% 정도 차지하고, 크게 textured protein과 non-textured protein으로 나뉜다. Textured protein은 비용해성 섬유질로 영양성분과 식감이 크게 향상되어 식물고기의 주재료로 이용되고 있다. Non-texturized protein은 지방과 수분 유지력, 유효화를 촉진하여 고기의 결합력을 증가시키는 장점이 있다. 두과작물 대부분 중에서 20~30%의 단백질함유량(건물기준)을 보이고, 유지종자에는 생리활성이 높은 효소와 저장단백질이 존재한다. 미생물에서 생성되는 단백질인 mycoprotein은 키틴, 글루칸 등의 식이섬유가 풍부하고, 혈중 콜레스테롤을 감소하는 효과가 보고되었다.

이러한 식물성 대체식품 제조시 유효화 및 주스화를 위해 물이 사용되고, 텍스처, 형태, 단백질 공급 및 수분 결합 기능을 하는 식물성 단백질이 약 20% 정도 추가된다. 식이섬유 공급과 수분결합 및 유효화를 위해 콩분리/농축 단백질, 밀 글루텐, 달걀흰자, 유청 단백질 등이 사용되고, 향미 증진을 위해 조미료와 향신료가 쓰인다. 또한 마이야르 반응과 갈색화, 풍미와 식감을 위해 지방과 다양한 오일이 추가되고, 수분결착을 위해 밀글루텐,

검, 하이드로콜로이드, 효소, 전분 등이 사용된다. 고기의 색을 내기 위해 천연 및 인공색소가 추가되는데, 카라멜색소, 맥아추출물, 사탕무 및 다양한 식용 합성색소가 쓰인다. 식물유래 단백질 추출을 최적화하기 위해 최근 많은 연구들이 수행되어 콩 단백질 추출 시 phenol 성분을 제거하여 신장성을 향상시키는 기술이 개발되었다. 또한 유채 저장단백질(cruciferin, napin)의 물성유지와 압착기술로 gel화시키는 기술이 개발되었고, 강낭콩 단백질체의 수소결합에 따라 젤화가 결정되기 때문에 수소결합을 억제하는 이온을 가진 염을 첨가하여 젤의 강도를 높이는 방법이 제안된 바 있다. 또한 병이리콩단백의 젤화 기술이 개발되어 계란흰자보다 수분과 지방흡수력이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

최근 대체식품에 대한 관심이 높아지고 채식인구가 증가하면서 육류나 유제품 등 동물성 식품의 구매에 비해 유기농 야채와 곡류 취급 매장의 수요가 증가하고 있다. 전국 대형마트에도 채식주의 zone이 도입되고, 다양한 비건식품들을 손쉽게 접할 수 있게 되었다. 또한 지속적인 채식인구 증가에 교육시설 및 군 시설에서의 채식 및 대체육류의 수요도 증가함에 따라 채식급식의 확대와 채식의 날 등을 운영하는 등 채식주의자와 무슬림을 위한 채식 급식 시스템 도입이 증가하고 있다. 해외에서도 비건 제품을 늘리기 위해 덴마크 채식연합은 여러 식료품점들과 협업하여, 전 세계 식당 정보를 제공하는 HappyCow 기업은 덴마크에서 10년간 채식주의 식당 수가 5배 가량 증가했다고 밝혔다. 독일을 비롯한 유럽에서도 특별한 채식 경험을 하는 비건푸드 투어 또는 하루 한끼 비건체험을 통해 도시의 비건카페, 레스토랑을 투어하는 여행 테마를 통해 채식주의자들 사이에 주목을 받고 있다.

이러한 기조에 발맞추어 2020년 밀 글루텐과 대두 단백을 이용한 제품인 제로미트 베지함박과 베지까스 등이 출시되었다. 콩단백과 밀단백질을 조합하여 햄버거 메뉴인 미라클버거가 출시되었다. 최근 지방색, 맛과 향, 수분을 그대로 재현하는 기술과 식물성 조직 단백질 제조기술인 LMHT(low-moisture, high-temperature)

기법을 도입해 씹는 질감까지 구현한 고기대신 시리즈가 출시되었다. 이 제품은 콩, 밀, 해초, 곤약, 버섯 등 식물성 원료를 기반으로 제조되었다. 또한 병아리콩, 퀴노아, 렌틸콩 등의 슈퍼푸드도 포함되어 있고, 고기 향이 극대화되는 마이야르 반응으로 풍미와 쫄깃한 식감을 느낄 수 있는 제품이 출시되었다. 식물성 원료만으로 고기의 질감과 육즙을 구현하고, 비건 향신료인 강황, 바질, 굵은 후추 등으로 맛을 내어 고기와는 다른 담백한 맛과 향을 구현했다는 평을 받은바 있다. 그 외에도 순식물성 원료인 밀에서 추출한 글루텐을 주원료로 각종 식물성 원료를 사용하여 쫄깃하고 고소한 식물성 단백질로 식물성 버거, 식물성 동그랑땡, 각종 식물성 반찬을 손쉽게 만들 수 있는 고기대용식인 베지버거, 베지미트 등이 출시되었다.

해외에서도 2019년 세계 최초로 식물성 월병이 출시되어 시장에서 긍정적인 평가를 받은 바 있고, 중국의 Omipork는 돼지고기를 대두단백질을 기반으로 모사하여 런천미트, 스트립, 번, 만두와 같은 제품을 출시하였다. Impossible food(미국)에서 판매되는 impossible burger patties는 햄버거의 패티, 타코, 피자 토핑 등 ground beef 대용으로 개발되어 여러 종류의 용량과 형태로 판매되고 있다.

Beyond Meat는 가장 다양한 제품군을 보유한 미국의 대체육 업체로 기존의 대두단백질이 아닌, 완두콩에서 추출한 단백질을 사용하였고, 글루텐이 사용되지 않은 것이 특징이다. Quorn Foods는 제품 원료로 Mycoprotein이라는 섬유질이 많고 포화 지방이 적은 단백질 공급원으로 Mycoprotein을 만들기 위해 토양에서 자라는 자연적이고 영양가 있는 곰팡이를 사용하였다. 네덜란드의 식물성 고기 대체품 생산 선두기업 비베라(Vivera)는 유럽 23개국과 약 2만 5000개 슈퍼마켓을 수요처로 두고 제품을 출시한바 있다. 영국의 대체육 스타트업 THIS는 최근 Brakes, Waitrose, Holland&Barrett, Ocado, Honest Burger, Patty&Bun 등의 슈퍼마켓과 레스토랑, drugstore 체인 등과의 제휴를 통해 매월 35%이상의 수요처에 공급 중이다. 중국의 햄육가공품 생산업체 Jinzi는 미국 기업 듀폰과의 제휴를 통해 대체육 소고기를 사용한 파이 및 다양한 대체육가공품을 출시하여 알리바바가 운영하는 온라인 쇼핑몰 티몰(Tmall)에 매일 100개 이상의 제품을 공급하여 판매하고 있다.

국내에서도 롯데푸드, 농심, 태경농산, 삼육식품 등 많은 기업들이 완제품을 중심으로 대체육을 출시하고 있으나, 완성도를 높이기 위해 첨가물 개발 등 R&D에 박차를 가하고 있다. 다만 국내에서 사용되고 있는 단백질

그림 3. 해외에서 출시된 식물성 대체식품



질 소재는 다소 한정적(150여 종의 식물체 중 약 2% 수준만 단백질 소재로 사용 중)이며, 실제 육류의 조직감, 맛, 풍미 등 육류특성 모방 기술에 대해 개선점이 많이 존재한다. 그 원인은 식물성 조직 단백을 생산하는 업체가 거의 없어 수입에 의존하고 있고, 관련 기술 수준 또한 초기단계에 있다. 따라서 수입된 원천 소재 및 기술을 단순 배합하는 수준이고, 식육모방기술의 발전 또한 필요한 실정이다. 하지만 최근 들어 국내 바이오 기업 중심으로 heme 복합체 제조기술, 콩뿌리혹의 육즙모사 성분 추출기술 등 대체식품의 원천기술관련 특허 출원 사례가 증가 추세에 있다.

식물성 대체식품의 표준화 현황을 보면 국내에서는 관련 기준, 표준화가 미비한 실정이다. 한국표준산업분류(KSIC) 및 관세 및 통계통합품목분류(HS)에 품목 구분이 아직 없어 산업분류체계가 필요하다. 일본의 농림수산성(MAFF)은 2020년 4월 100여 개 이상의 식품기업으로 구성된 식품 기술 연구 그룹을 구성하여 향후 정책 마련에 도움이 될 수 있도록 기업의 최신 발전 상황과 기업이 직면하고 있는 구조적 과제 등에 대해 발의하여 대체육 제품에 대한 규제 논의, 식품 안전, 품질 및 국제 수출용 표준 개발, 라벨링 및 제품 인증에 대한 지침을 제안하고, 정부와 협력하여 규정 및 표준에 대한 논의를 이어가고 있다. 또한 규칙제정전략센터(Center for Rule-making Strategy)는 세포농업협회(Japan Association for Cellular Agriculture)를 통해 산·학·정부 간 규제프레임워크를 논의하고 있다. 인도는 증세포 농업 우수센터 건설에 50억 달러 상당의 자금을 투자할 예정이며, 배양육 식품 규제 및 라벨링을 위한 식품 안전 및 표준에 대한 당국의 논의를 시작하였다.

우리나라의 비건 인증은 한국비건 인증원에서 실시하는 것으로 동물 유래 원재료를 사용하거나 이용하지 않고, 교차 오염되지 않도록 관리하며, 제품에 동물실험을

실시하지 않은 기준이 적용된다. 일본은 ‘농림 수산물의 표준화 등에 관한 법률’에 의거하여 그 규칙에 부합하는 식품에 JAS 인증을 부여한다. 미국에서는 완전채식제품에 비건액션(Vegan action) 인증이 부여되고, 이탈리아는 비건이 섭취할 수 있는 제품에 대해 팔리따베지파리아나(Qualita Vegetariana) 인증을 하고, 유럽채식협회(EVU)에서는 V-Label 인증으로 채식인증과 비건인증으로 부여한다.

IV. 결론

단백질 요구량 증가에 따른 대안으로 대두되고 있는 대체단백질식품은 미래 식량 문제에 대응하고, 국내의 식량 자급력 향상을 위한 방안으로 생명공학을 활용한 고부가 식품소재 생산의 기준을 제시함과 동시에 새로운 식육 생산 기술을 확보하여 새로운 식품산업에서 국제적으로 유리한 고지를 선점할 수 있는 아이템이라 할 수 있다. 기존 식품/축산업과의 이해관계 및 관리규정 등에 대한 기틀이 마련되면 대체단백질식품분야는 동물복지 및 환경문제를 고려한 지속가능한 녹색축산의 실현가능성을 재고하고, 다양한 형태의 green meat 개발 기술 확보를 통해 대체단백질식품에 대한 국내 수요를 충족하고 소비자선택의 폭을 넓히며, 제품다각화 및 이익을 창출의 원동력이 될 수 있을 것이라 사료된다.

사사

본 결과물은 세종대학교와 산업통상자원부가 지원한 2020년도 산업기술사업(과제명: 알키미스트 프로젝트; 20012411, Alchemeat Meat [mit] the future)의 지원을 받아 작성되었습니다.

참고문헌

1. Population Reference Bureau. 2020. <https://www.prb.org>
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. FAO. <https://www.fao.org/publications/sofa/2016>
3. Harwatt H, Ripple WJ, Chaudhary A, Betts MG, Hayek MN. 2020. Scientists call for renewed Paris pledges to transform agriculture. *Lancet Planetary Health* 4(1): E9-E10.
4. 박미성, 박시현, 이용선. 2020. 대체식품 현황과 대응과제. 농업경제연구원 농정포커스.
5. United Nations, World Bank, Expert interviews: A.T.Kearney analysis. 2019. <https://enterprise.press/issues/2019/12/30/>
6. Bryant CJ, Barnett JC. 2019. What's in a name? Consumer perceptions of in vitro meat under different names. *Appetite* 1(137):104-113.
7. Van Loo EJ, Caputo V, Lusk JL. 2020. Consumer preferences for farm-raised meat, lab-grown meat, and plant-based meat alternatives: Does information or brand matter? *Food Policy* 95: 101931.
8. Meticulous Research. 2019. <https://www.meticulousresearch.com/>
9. FDA and USDA could strengthen existing efforts to prepare for oversight of cell-cultured meat. 2020. GAO report. <https://www.gao.gov/assets/gao-20-325.pdf>
10. Kang JX, Wan JB, He C. 2014. Concise Review: Regulation of stem cell proliferation and differentiation by essential fatty acids and their metabolites.
11. Rohwedel J, Maltsev V, Bober E, Arnold HH, Hescheler J, Wobus AM. 1994. Muscle cell differentiation of embryonic stem cells reflects myogenesis *in vivo*: developmentally regulated expression of myogenic determination genes and functional expression of ionic currents. *Dev Biol.* Jul. 164(1): 87-101.
12. Darabi R, Santos FNC, Filareto A, Pan W, Koene R, Rudnicki MA, Kyba M, Perlingeiro RCR. 2011. Assessment of the myogenic stem cell compartment following transplantation of Pax3/Pax7-induced embryonic stem cell-Derived Progenitors. *STEM CELLS* 29: 777-790.
13. Pagliuca FW, Millman JR, Gürtler M, Segel M, Van Dervort A, Ryu JH, Peterson QP, Greiner D, Melton DA. 2014. Generation of functional human pancreatic β cells *in vitro*. *Cell.* Oct 9;159(2): 428-39. doi: 10.1016/j.cell.2014.09.040. PMID: 25303535; PMCID: PMC4617632
14. Barber TD, Barber MC, Tomescu O, Barr FG, Ruben S, Friedman TB. 2002. Identification of target genes regulated by PAX3 and PAX3-FKHR in embryogenesis and alveolar rhabdomyosarcoma. *Genomics* 79(3): 278-284.
15. Shelton M. 2014. Derivation and expansion of PAX7-positive muscle progenitors from human and mouse embryonic stem cells. *Stem Cell Reports*, 3(3): 516-529.
16. 임동표, 임경준. 2017. 버섯농축액과 배양액을 이용한 패티 제조 방법. 한국(KR)/등록특허: 10-1851655-0000 (2018-04-18).
17. World's first lab-grown burger is eaten in London. 2013. BBC News. <https://www.bbc.com/news/science-environment-23576143>
18. Textured vegetable protein. 2019. Encyclopedia of Food Chemistry.

19. Volk C, Brandsch C, Schlegelmilch U, et al. 2020. Postprandial metabolic response to rapeseed protein in healthy subjects. *Nutrients* 12(8): 2270.
20. 김태영. 2017. 템페, 인제라, 낫또...세계각국의 발효식품들. *Real Foods* (주)헤럴드.
21. Cheftel JC, Kitagawa M, Queguiner C. 1992. New-protein texturization processes by extrusion cooking at high moisture levels. *Food Reviews International* 8(2): 235-275.
22. Osen R, Toelstede S, Wild F, Eisner P, Schweiggert-Weisz U. 2014. High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses and texture properties. *Journal of Food Engineering* 12767–74.
23. Kweldam AC, Kweldam G, Kweldam AC. (Eds.). 2011. Method for the preparation of a meat substitute product, meat substitute product obtained with the method and ready to consume meat substitute product: Google patents.
24. Dekkers BL, Boom RM, Van der Goot AJ. 2018. Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science & Technology* 81: 25-36.
25. Van der Weele C. 2017. Cultured meat, better than beans? In J Duncan, & M Bailey (Eds.). *Sustainable food futures. Multidisciplinary solutions* (pp. 163–174). London.
26. Hong Sun, Xin Liu, Yi-Zhen Wang, Jian-Xin Liu, Jie Feng 2013. Soybean glycinin- and β -conglycinin-induced intestinal immune responses in a murine model of allergy, *Food and Agricultural Immunology* 24(3): 357-369.
27. MF Marcone. 1999. Possible nutritional implications of varietal influence on the 7S/11S seed globulin ratios in Amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition* 54: 375-380.
28. Green PH, Cellier C 2007. Celiac disease. *N Engl J Med* 357: 1731–1743
29. Denny A, Aisbitt B, Lunn J 2008. Mycoprotein and health nutrition. *Bulletin* 33: 298–310.