

# 세계 대체육류 개발 동향

이 현 정 \* · 조 철 훈 \*\*

## 1. 대체육의 등장 배경

### 1.1. 식육의 가치와 급증하는 육류 수요

‘식육’이란 식용을 목적으로 하는 가축의 지육, 정육, 내장 및 그 밖의 부분을 뜻한다(식약처 2018). 식육은 식품으로 섭취하는 단백질 중에서 약 1/4 정도를 차지하며(Alexander et al. 2017), 다른 식품들에 비해 필수아미노산들이 고르게 함유된 고품질 단백질뿐 아니라 인체에 필수적인 여러 지방산 및 미량 비타민·광물질 등을 인간에게 공급하는 주요 식량자원이다(Smet et al. 2016). 근래 비만, 심혈관질환, 암 등 식육이 건강에 미치는 유해성과 관련한 우려가 증가하고 있는 추세이나 그 과학적 증거는 여전히 부족하고, 결론에 도달하기 위해서는 식육의 종류, 조리방법, 지역, 식문화 등에 따른 다양한 역학적 연구가 필요하다(Hur et al. 2018). 그러므로 식육의 섭취는 신체발달 및 유지에 있어서 중요한 역할을 수행하고 있을 뿐 아니라 문화적, 사회적 및 개인의 기호와 연관되어 있어 식량자원으로 식육의 가치는 향후에도 줄어들지 않을 전망이다(Alexander et al. 2017; 정종연 등 2018).

국제연합 식량농업기구(FAO)의 보고에 따르면, 2050년 세계 인구는 약 92억 명에 육박할 것으로 예상되며 이에 따라 미래 육류의 수요는 약 4.5억 톤에 도달할 것이라 보고되고 있다(맹진수 2016). 특히 개발도상국의 경우 경제 발전에 따라서 미래 식육의 소비가 크게 증가할 것으로 예측되며 이에 따라 급증하는 육류의 수요를 충족하기 위해 매년 식육 공급량을 점차 늘려가야 하는 실정이다(강석남 등 2018; 오승희 2015).

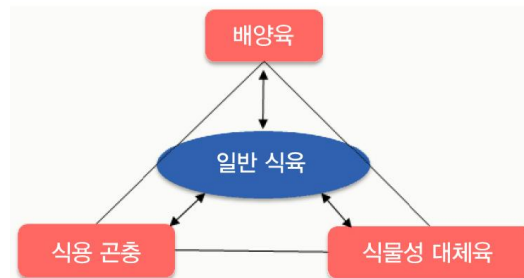
\* 서울대학교 식품바이오융합연구소 연구원.

\*\* 서울대학교 농생명공학부 동물생명공학 전공 교수 (cheorun@snu.ac.kr).

## 1.2. 가축의 사육을 이용한 미래 식육 공급의 한계점

이와 같이 증가하고 있는 육류의 수요에 맞추어 식육 공급량을 늘리는 방법으로 크게 ① 가축의 사육을 통한 증산과 ② 육류 대체 식품 개발을 들 수 있다. 이 중 가축의 사육을 통한 식육의 생산은 그 동안 전통적으로 이루어지던 방법으로 지속적 발전을 통하여 우수한 품질의 식육을 인류에게 공급하여 왔고 현재까지 요구되던 대부분 육류의 수요를 충족하여 왔다. 그러나 토지, 물 등 지구 상 자원의 한계와 온실가스 등 환경적 문제로 인하여 가축의 사육만을 통해 미래 육류의 수요를 모두 충족하기에는 어려움이 있을 것으로 예상된다(강석남 등 2017). 또한 사료용 곡물의 수요가 증가함에 따라 가축의 사육에 소요되는 생산비도 점차 늘어나고 있어(맹진수 2016), 전통적인 방법으로 생산한 식육은 가까운 미래에 고가의 식량자원으로 자리 잡으리라 예상된다(Bonny et al. 2015). 이에 따라 앞으로도 지속가능하고 경제적인 가격의 단백질 공급원 마련이 당장 시급하며 그 해결책으로서 대체육 개발의 필요성이 대두되고 있다. 현재 식물성 대체육, 식용곤충, 배양육 등이 가장 대표적인 대체육류로서 주목받고 있는 실정이며(Alexander et al. 2017), 향후 가축의 사육을 통한 식육 증산과 대체육 개발 및 생산은 서로 상호보완적인 관계에서 인간에게 필수적인 영양, 특히 단백질을 공급하는 식량자원으로 활용되리라 기대된다<그림 1>.

<그림 1> 미래 식육과 대체 육류의 상호보완적 관계



자료: 저자작성.

## 2. 대체육의 분류

### 2.1. 식물성 대체육

#### 2.1.1. 정의 및 역사

식물성 대체육은 식물에서 추출한 단백질을 이용하여 제조한 육류 유사식품(meat analog)으로 현재 대체육류 시장에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다(Bonny et al. 2015; 이정민 등 2018). 밀 글루텐 및 대두단백질이 식물성 대체육의 주요 원료이며 그 외에도 완두콩, 콩, 깨, 땅콩, 목화씨, 쌀, 곰팡이 등을 이용하고 있다(표 1; 김철재 2005).

<표 1> 주요 식물성 단백질 및 원료

식물성 단백질	원료
베타 콘글리시닌	대두
글리시닌, 비실린	콩
레구민, 알부민, 글로불린, 글루텔린	씨앗 기름
글루텐	밀, 호밀, 보리
마이코프로테인	곰팡이

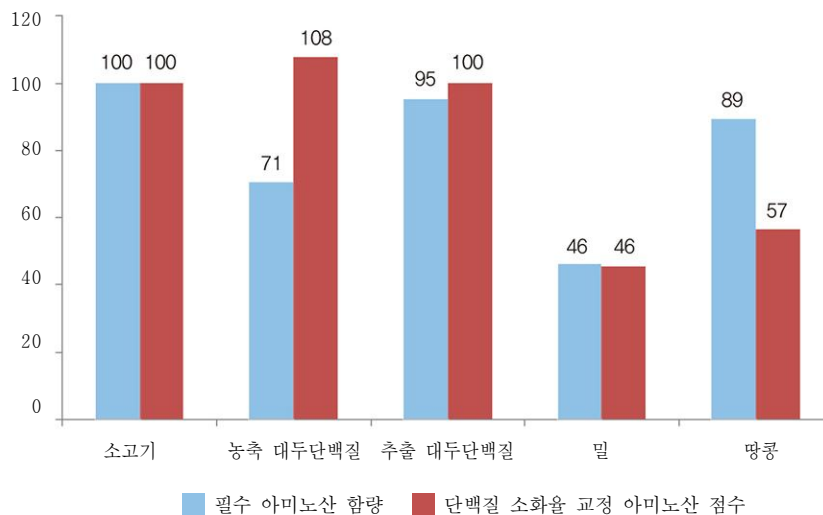
자료: Asgar et al. (2010)에서 인용.

예로부터 식물성 대체육을 이용한 역사를 살펴보면, 1950년대 이전에는 밀 글루텐을 이용하여 식물성 대체육을 제조하여 왔고 1950년대 후반에는 대두단백질을 이용하였으나 제조된 상품의 조직감이 기존 육류와 차이가 커 상업적인 성공을 거두진 못하였다(김철재 2005). 하지만 그 이후 식물성 단백질 조직화와 관련한 연구가 지속됨에 따라 1970년대부터 여러 가지 모양과 조직감, 맛을 내는 식물성 대체육의 생산이 가능해진 상황이다(이정민 등 2018). 한편, 1964년 영국에서 곰팡이(*Fusarium graminearum*)를 이용하여 전분 부산물로부터 유래된 식물성 단백질을 개발하였으며 1985년부터 Quorn이라는 상품으로 시판하고 있다(김철재 2005). 현재 Quorn 외에도 임파서블 푸드, 비욘드 미트, 에이미 키친, 컬드론 푸드 등 여러 기업에서 다양한 종류의 식물성 대체육을 생산하고 있고 소비자들에게 긍정적인 반응을 얻고 있다(이정민 등 2018).

### 2.1.2. 식량자원으로서의 가치

식물성 대체육을 원하는 소비자는 크게 ① 종교적 신념 및 건강을 이유로 육류의 대체를 원하는 채식주의자와 ② 보다 경제적인 가격의 단백질 공급원을 원하는 소비자로 분류된다(김철재 2005). 따라서 식물성 대체육을 이용할 때 동물성 단백질 섭취 없이도 인체에 필요한 영양소를 공급하는 것이 중요하다. 이정민 등(2018)의 조사에 따르면, 현재 설계되어 시판되고 있는 식물성 대체육은 단백질 함량이 높고 지방 및 포화지방산의 함량이 비교적 낮다. 특히 대두단백질의 경우 필수 아미노산 함량 및 단백질 소화율 보정 아미노산 점수(protein digestibility corrected amino acid score)를 기준으로 비교해 보았을 때 소고기와 비슷한 수준의 단백질을 가지는 것으로 사료된다(그림 2; 정종연 등 2018).

<그림 2> 소고기 대비 식물성 대체육의 필수 아미노산 함량 및 단백질 소화율 보정 아미노산 점수  
단위: %



자료: Joshi et al. (2015), 김철재(2005)에서 수정 인용.

또한 식물성 대체육 생산 시 식물성 단백질이나 예로부터 식품의 소재로 활용해 온 부재료가 주를 이루기 때문에 그 안전성이 입증되어 있고 제조 중 생산비가 낮아 경제적인 것이 큰 장점이다(정종연 등 2018).

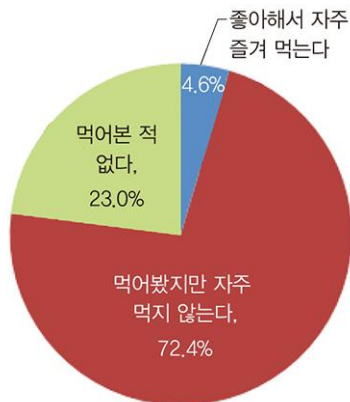
### 2.1.3. 연구개발 동향 및 한계점

식물성 대체육을 섭취하는 주요 목적은 동물성 식품인 육류의 대체에 있으나 그 맛과 조직감이 기존의 육류에 비해 여전히 부족하다. 개발 초창기의 식물성 대체육이 실패한 이유는 육류의 조직감과 차이가 큰 것이 주요 원인이었으며(김철재 2005), 이에 따라 식물성 대체육의 조직화와 관련한 연구는 지금까지도 계속 진행되고 있다.

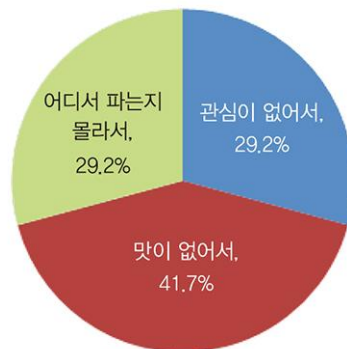
또한 최근 조사에 따르면(밥상머리뉴스 2018), 식물성 대체육을 접해 본 소비자 중 약 29%가 식물성 대체육의 맛이 부족하여 자주 먹지 않는다고 답하였고 역시 전체 참여자의 약 61%가 맛 부족을 이유로 식물성 대체육이 기존의 육류를 대신하기 어렵다고 답하였다(그림 3; 밥상머리뉴스 2018). 동 조사에서 특정 콩고기 제품을 시식 후 소비자의 재구매 의사를 확인해본 결과, 약 29%의 소비자가 “잘 모르겠다”, 약 27%의 소비자가 “재구매 의사가 없다”고 하였으며 그 이유로는 “실제 고기가 더 맛있어서(34.3%)”, “맛이 없어서(28.6%)” 등을 들어 식물성 대체육의 맛 개선이 앞으로 식물성 대체육의 보편화를 위한 필수적인 과제임을 확인할 수 있었다.

<그림 3> 식물성 대체육 관련 설문조사 결과

(a) 평소 콩고기를 즐겨 드십니까?



(b) 왜 자주 먹지 않습니까?



자료: 밥상머리뉴스(2018)에서 인용.

식육 섭취 시 느껴지는 조직감은 주로 식육 내 치밀하게 구조화된 근섬유와 결합조직에서 유래하는데(강석남 등 2018) 식물성 대체육 내 단백질은 대부분이 무결정성 조직을 가지고 있으므로 제조 시 조직화 공정이 반드시 필요하다(김철재 2005).

지금까지 식물성 대체육의 조직화를 위한 방법으로 ① 방사법(spining process), ② 압출 성형공정(thermoplastic), ③ 증기법(steam texturization) 등이 연구되어 왔다. 이 중 가장 대표적인 것은 압출성형공정이다. 추출한 식물성 단백질을 물과 혼합 후 압출기 내에서 가열하며 높은 압력으로 압출하면 압력, 열 및 기계적 전단력 등의 복합적인 작용에 의해서 가소성과 신축성을 갖게 되고 단백질의 분자들은 방향성을 가지면서 응고되어 식육과 비슷한 조직감을 만들 수 있다. 이렇게 제조한 식물성 단백질을 식물조직단백(textured vegetable protein)<그림 4>이라 하며, 제조공정이 경제적이고 다양한 모양과 크기로 제조할 수 있어 다양한 제품의 제조에 활용되고 있다. 다만 압출성형공정 시 식물성 단백질 조직화를 위해 원료는 반드시 50% 이상의 단백질과 6~7% 수준의 지방을 함유해야 하고, 섬유소나 지방, 탄수화물은 적어야 한다. 가장 대표적인 원료로는 밀 글루텐과 대두단백질 등이 있다.

<그림 4> 압출성형공정으로 제조한 식물성 단백질



자료: Asgar et al. (2010)에서 인용.

또한 전분 부산물로부터 *F. graminearum*을 이용하여 생산하는 단백질은 식육 내 근섬유와 비슷한 구조와 직경을 가지고 있어서 그 조직감이 거의 동일한 것으로 알려지고 있다(김철재 2005).

식육의 풍미는 주로 식육 내 유리아미노산, 유리지방산, 핵산관련물질, 환원당 등 풍미관련물질에서 유래되며 식육 내 비타민 B1 및 마이오글로빈 또한 식육의 풍미에 영향을 미친다(이현정 2018). 최근 임파서블 푸드 등의 기업에서 기존 육류와 비슷한 맛을 내기 위해 두류식물 뿌리에서 ‘레그 헤모글로빈’을 추출하였으며 식품에 활용 시 그 안전성에 대한

미국 식품의약국의 승인을 받은 바 있다. 또한, 지방을 대신해 코코넛 오일을 첨가하는 등 식육 고유의 풍미를 식물성 대체육에 재현하기 위한 연구들을 지속하고 있다(이정민 등 2018).

## 2.2. 식용곤충

### 2.2.1. 정의 및 역사

곤충이란 절지동물 곤충 강에 속하는 소동물 모두를 총칭하며 몸이 머리, 가슴, 배로 나뉘고 6개의 발이 있는 구조적 특징을 가진다(박성권 등 2018). 곤충의 종류는 크게 천적 곤충, 화분 매개 곤충, 환경 정화 곤충, 식용곤충, 약용곤충, 학습·애완 곤충, 사료용 곤충 등으로 나눌 수 있으며(김일석 2018), 이 중 식용곤충이란 식용이 가능한 모든 곤충류를 의미한다. 현재까지 추산한 바로는 곤충은 지구상 약 130만 종이 존재하는 지상 최대 자원이며 이 중 약 1,900여 종이 식용으로 이용되고 있다(김일석 2018; 박성권 등 2018). 갈색거저리, 흰점박이꽃무지 유충, 장수풍뎅이 유충, 귀뚜라미 등이 대표적인 식용곤충이며, 주로 딱정벌레목, 나비목, 벌목, 메뚜기목, 노린재목, 흰개미목, 잠자리목, 파리목 등이 이용되고 있다(맹진수 2016).

곤충과 관련한 역사적 기록을 살펴보면 인간이 곤충을 섭취해온 것은 기원전 1400년경으로 최소한 3,000년 이상일 것으로 예상되며 약 5,000년 전 고대 중국에서 곤충을 섭취한 기록들도 있어 이는 인류가 생겨난 이래 지속적인 식량자원으로 이용되어 왔으리라 생각된다(김수희 2017). 비록 아직까지 곤충에 대해서 혐오식품으로 인식하는 소비자가 대부분이지만 최근 들어 미래 식량자원으로 식용곤충이 급부상함에 따라 이에 대한 관심 또한 점차 증가하고 있는 추세이다. 현재 곤충을 섭취하는 인구는 세계적으로 약 20억 명에 달한다고 하며(류정표 2017), 2050년 단백질 수요의 약 5%를 곤충으로 대체하면 관련 시장의 매출이 약 57조 원에 도달할 것으로 예상하고 있다(맹진수 2016).

### 2.2.2. 식량자원으로서의 가치

과거 대부분의 곤충들은 자연에서 수렵, 채집 등의 활동을 통하여 확보되었으나(박성권 등 2018), 향후 미래 식량자원으로 활용하기 위해서는 보다 지속적인 공급원의 마련이 필요한 실정이며 이에 따라 사육을 통하여 곤충을 생산하기 위한 노력들이 지속되고 있다. 곤충은 '변온성' 또는 '외온성' 동물로 체온의 유지에 별도의 에너지가 들지 않아 사육 시 가축에 비해서 사료의 소비가 적고(강석남 등 2018; 맹진수 2016), 소요되는 토지 및 물 등 자원의 소모와 환경오염 등의 위험이 비교적 낮으며 번식률도 좋아 사육 시 효율이 높고 그 활용 가능성이 크다(그림 5; 정종연 등 2018).



또한 곤충의 사육은 기존 가축의 사육에 비해 쉽고 적은 자본으로 시작 가능하여 누구나 참여할 수 있어 보다 쉽게 생계의 수단을 제공할 수 있으며, 가축의 분뇨를 이용한 사육도 가능하여 향후 축산 폐기물을 처리하는 좋은 수단이 되어줄 수 있다(강석남 등 2018; 맹진수 2016). 그 외에도 곤충은 지방의 함량이 적고 양질의 단백질과 미네랄 및 비타민은 풍부하여 <표 2>, 식육 단백질 대체 시 인간에게 필요한 영양소 공급이 충분히 가능할 것으로 보고되고 있다(강석남 등 2018; 맹진수 2016).



<표 2> 가축 및 식용곤충 간의 영양성분 함량 비교

	갈색거저리	귀뚜라미	닭고기	돼지고기	소고기
단백질(g)	18.1~22.1	13.2~20.3	18.0~22.0	18.6~21.5	19.2~21.6
지방(g)	11.2~15.4	3.5~6.1	4.0~13.9	4.0~16.2	5.1~15.0
칼슘(mg)	42.9	49.8~287.0	6.8~12.0	6.0~10.0	5.0~8.3
철분(mg)	1.6~2.5	2.5~8.0	0.7~1.0	0.7~0.8	1.5~2.3
티아민(mg)	12.0	-	0.1	0.6~1.0	0.1
리보플라빈(mg)	0.8	3.4	0.1~0.2	0.2~0.3	0.2~0.3
니아신(mg)	4.1	3.8	4.9~7.7	4.9~6.9	4.1~5.3

자료: 강석남 등(2018)에서 수정 인용.

### 2.2.3. 연구개발 동향 및 한계점

곤충이 기존의 식육을 대체할 좋은 단백질 자원이란 것은 잘 알려져 있으나(김수희 2017), 미래 보편화를 위해서는 곤충의 섭취에 대한 소비자 혐오증 극복이 가장 큰 과제이다(맹진수 2016). 김수희(2017)의 보고에 따르면, 현재 약 65% 이상의 곤충이 원형 그대로의 모습으로 판매되며 그 외 분말, 에너지바 등의 제품으로 소비되어 육류처럼 완성도가 높은 요리로서 제공되고 있는 사례들은 많지 않다. 이는 곧 곤충의 섭취에 익숙하지 않은 소비자의 거부감 유발로 이어질 수 있으며 향후 이러한 문제의 극복을 위해서는 소비자 인식의 개선을 위한 꾸준한 노력과 함께 보다 다양한 품종의 확보 및 가공기술 개발이 필요한 실정이다.

<그림 6> 곤충의 단백질 및 유지 추출을 통하여 제조한 제품 사례

(a) 곤충 단백질로 제조한 햄버거



(b) 곤충 유래 유지



자료: Tozma-Sosa et al. (2016), 세계일보(2019)에서 인용.

미래 식량자원으로서의 곤충 개발을 위해서 연구되고 있는 기술들은 ① 원재료 가공 ② 단백질 가공 및 ③ 오일류 가공 등이 있다(류정표 2017). 원재료 가공기술이란 건조 및 분말화를 통해 곤충을 식품에 적용하는 방법으로 현재 가장 많이 이용되고 있다. 곤충을 건조 후 분말화하여 가공할 경우 원물에 비하여 제품의 부피가 작아 운반이 간편할 뿐 아니라 제품 내 수분활성도가 낮아 장기간 보관할 수 있다. 또한, 식품에 적용 시 향미 등의 품질 특성 향상을 기대할 수 있다. 단백질 및 오일류 가공기술은 곤충 내 단백질과 오일을 추출해 외형적 특성에서 오는 부정적 영향은 줄이면서 곤충의 성분을 이용하기 위해 연구되고 있다. 아직 개발 초기단계이나 이를 통한 다양한 제품의 생산이 가능하여 미래 식량자원부터 바이오디젤의 제조까지 식용곤충의 활용분야를 넓혀줄 것으로 기대하고 있다 <그림 6>.

## 2.3. 배양육

### 2.3.1. 정의 및 역사

배양육(cultured meat 또는 *in vitro* meat)은 살아있는 동물체로부터 채취한 세포를 증식하여 생산하는 가장 대표적인 대체육류로서 주로 줄기세포<표 3>들을 이용하여 동물의 조직을 배양하며(강석남 등 2018), 가축 사육 외 실제 식육의 제조가 가능한 유일한 방법이다.

<표 3> 분화능에 따른 줄기세포 종류 및 특징

종류	분화방향	복제 가능 횟수
전능	모든 체조직 및 배아발달 세포	매우 높음
만능	대부분의 체조직 세포 (예: 배아줄기세포)	세포에 따라서 다양함 (예: 배아줄기세포 - 무제한)
다능	유래한 종류의 조직 (예: 성체줄기세포)	동물의 나이에 따라 다양함 (예: 성체줄기세포 - 50~60회)
단능	단일 조직	나이에 따라서 감소

자료: Kadim et al. (2015)에서 수정 인용.

1932년 영국의 총리였던 윈스턴 처칠은 그의 저서를 통하여 배양육의 가능성에 대해 처음 언급하였다(Churchill 1932). 배양육과 관련한 역사를 살펴보면 1912년 닭 염통의 배양을 시도한 기록이 처음으로 확인되었으며(Bhat et al. 2015; 강석남 등 2018), 이후 1971년

첫 배양이 성공한 사례가 보고된 바 있다(블록체인AI뉴스 2016). 또한 1999년 네덜란드 암스테르담 대학교의 빌렘 반 엘런 박사는 배양육 관련 이론으로 첫 국제 특허를 출원한 후 2002년 금붕어 배양에 성공하였으며(맹진수 2016), 2001년 미항공우주국에서 칠면조 고기를 배양하는 등 전 세계적으로 여러 연구진이 배양육과 관련한 연구를 진행하고 있다. 그러나 먼저 언급한 식물성 대체육과 곤충에 비해 배양육은 대부분의 연구들이 진행 중에 있어 아직 상업적인 생산단계까지 상용화되지는 않은 상태이다.

2013년 네덜란드 마스트리히트대학의 마크 포스트 박사가 배양육을 이용하여 만든 햄버거를 공개하였으며 미국의 멤피스 미트가 2016년 미트볼을, 2017년 프라이드 치킨 및 오리고기 등을 제조하여 시연한 사례가 있다<그림 7>. 공개 당시 햄버거 가격이 3억 3,800만 원, 미트볼은 113만 원이었던 것에 비해 현재 생산 시 소요되는 비용은 kg 당 9만 원, 햄버거 한 개당 만 원까지 절감된 상태로(동아시아언스 2018; 블록체인AI뉴스 2016) 마크 포스트 박사의 모사미트 등 일부 기업에선 2021년 배양육의 상용화를 목표로 하고 있다.

<그림 7> 배양육 제조 사례

(a) 햄버거



(b) 미트볼



(c) 프라이드 치킨



(d) 오리고기



자료: 콰노필의 미래 창(2017), 동아시아언스(2018), 지디넷코리아(2013)에서 인용.

### 2.3.2. 식량자원으로서의 가치

맹진수(2016)의 보고에 따르면, 배양육은 지속적 생산이 가능하여 세계적으로 급증하고 있는 인구 모두의 수요를 충족할 수 있을 뿐만 아니라 다른 대체육과 달리 실제 동물성 단백질을 공급할 수 있어 대체육류 중 가장 관심 받고 있는 소재이다. 배양육 생산은 조직의 배양을 기반으로 함으로서 생산공정 중 가축의 사육을 배제하여 동물복지·윤리 및 환경문제 등을 최소화할 수 있다(강석남 등 2018). 또한 모든 공정들을 무균환경에서 실시할 뿐만 아니라 GMP(Good Manufacturing Practice), HACCP(Hazard Analysis, and Critical Control Points) 등 기존 식품품질관리 시스템의 적용이 가능해 외부 오염이나 항생제 오남용을 방지하고 인수공통전염병, 식중독 등 여러 질병의 발생을 현저히 감소시킬 수 있어

보다 안전한 제품의 생산이 가능하다(강석남 등 2018).

한편, 아직 연구단계지만 조직 배양 중 배지 조성 및 배양조건 등 환경에 따라서 생산되는 식육 내 성분의 조절이 가능하여 인체에 유익한 성분은 가미하고 해로운 성분은 다른 성분으로 대체하는 등 보다 우수한 품질의 식육을 더 빠른 시간 내 생산할 수 있다(Bhat et al. 2015; 맹진수 2016). 더욱이 배양육은 식물성 대체육이나 식용곤충 등 다른 소재보다 그 맛과 조직감이 우수하여 소비자의 영양 및 관능적 기호를 모두 만족시킬 수 있다는 장점이 있다(Post 2012).

### 2.3.3. 연구개발 동향 및 한계점

배양육의 상용화를 위해서는 제조공정 개발부터 제조 시 필요한 세포주, 배지, 바이오리액터, 제품 품질 개선 등 다양한 방면의 연구가 필요하며(강석남 등 2018), 실제 상용화된 이후에도 계속해서 관련 연구들이 지속될 것으로 사료된다.

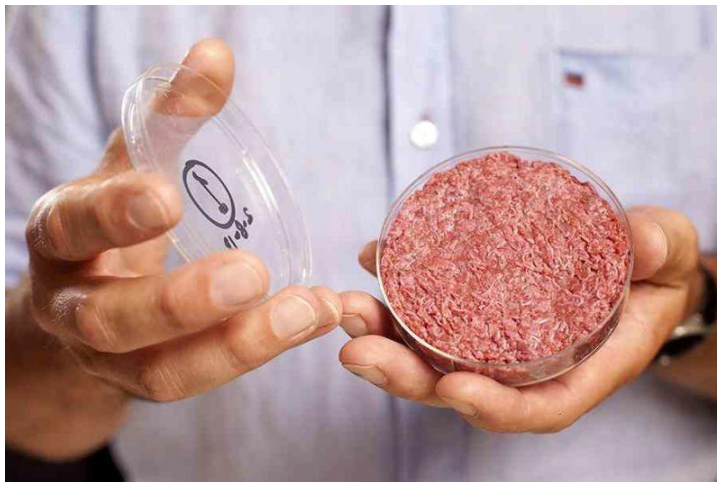
먼저, 배양육 생산은 ① 지지틀 기술(scaffolding)과 ② 자가 조직화 기술(self organizing)을 이용한다(Bhat et al. 2015; 강석남 등 2018; 맹진수 2016). 지지틀 기술은 가축 내 근원세포(myoblast) 또는 위성세포(satellite cell) 등을 분리하여 바이오리액터에서 성장하게 만드는 기술로 근육세포의 분화와 증식을 위해 필수적이다. 이 때 이용되는 지지틀은 세포의 부착과 성장을 위해 표면적이 넓고 수축하기 유연해야 하며 향후 손쉽게 분리될 수 있어야만 한다. 가장 좋은 것은 식용으로 섭취할 수 있고 단단한 조직을 가진 천연 소재이며 최근 들어 3D 프린팅 기술과 접목하여 연구되고 있는 추세이다. 지지틀에 부착된 세포는 먼저 근관(myotube)으로 전환되고 특정 조건 하에 근섬유(muscle fiber)로 분화되며 이 근섬유를 수확하여 식육제품으로 가공한다. 다만 지지틀 기술만으로는 고도의 구조를 가진 제품의 생산은 어렵고 분쇄육 또는 뼈가 없는 정육의 생산에 적합하다. 반면, 자가 조직화 기술은 근섬유 및 실제 근육 내 존재하는 모든 종류의 세포를 포함한 조직을 외식(explant)하여 배양육을 제조하는 기술이다. 이 기술을 이용하면 지지틀 기술에 비해 보다 고도의 근육질 구조를 가진 배양육을 제조할 수 있다. 이 기술을 통하여 2002년 금붕어 조직을 배양한 사례가 있으나 아직까지 조직의 성장에 필요한 충분한 영양소를 공급하는 방법이 확립되지 않았으며 이를 해결하기 위해 인공 모세혈관 등 여러 가지 방안들이 제시되고 있다.

이와 같이 만들어진 배양육은 아직까지 색 및 외관, 맛, 조직감이 기존의 식육과 조금

다르기 때문에 보다 '고기다운' 제품의 생산을 위한 연구들이 필요하다(Moritz et al. 2015). 2013년 마크 포스트가 세계 최초로 선보인 배양육<그림 8> 또한 더 고기답게 만들기 위해 비트즙 및 사프란 등을 첨가하여 육색을 재현하였으며, 시식 결과 조직감 자체는 기존의 육류와 비슷하나 지방의 함량이 적고 맛이 부족하던 평가를 받았다(블록체인AI뉴스 2016; 이정민 등 2018). 현재 이를 개선하기 위해 근섬유 외에도 실제 피, 뼈, 지방 등을 함께 생산하는 연구들이 병행되고 있다(맹진수 2016).

또한 미래 상용화를 위해서는 대량생산체계 마련이 반드시 필요하며 이를 위해 현재 주로 이용되고 있는 부착세포배양 외 부유세포배양 방법 등이 연구되고 있을 뿐만 아니라 배지 조성 등 제조비용 및 품질적인 측면에서 더욱 더 우수한 배양육을 생산하기 위해 노력하고 있다(동아사이언스 2016).

<그림 8> 마크 포스트가 제조한 배양육



자료: 맹진수(2016)에서 재인용.

### 3. 대체육 개발의 미래 전망

<표 4>에는 전통적인 가축의 사육을 통해 생산하는 일반 육류에 비교한 각 대체육의 특징들을 요약해 보았다. 대체육은 기존 육류 생산 방법에 비해서 지속가능하고 환경오염 등의 문제가 적다는 점에서 점점 더 주목받을 것이나, 아직까지 맛과 조직감 등 관능적

품질 수준이 기존 식육보다 크게 부족하고 특히 식용곤충 같은 경우 곤충의 섭취에 대한 소비자 혐오감 극복을 과제로 하고 있어 이를 개선하기 위한 연구들이 반드시 필요하다. 향후 이러한 수요에 따라 식물성 대체육 및 곤충과 관련한 연구는 ① 식물성 단백질의 맛 개선 및 조직화와 ② 식용곤충자원의 탐색 및 가공기술 개발 등을 중심으로 이뤄질 것으로 보인다. 배양육의 경우, 세계적으로 여러 연구진에 의해 연구되고 있는 것에 반해 기술과 관련한 부분이 공개되지 않은 부분이 많고 상용화가 예측되는 2021년 전·후로 큰 변동이 있으리라 예상된다.

<표 4> 일반 육류와 비교한 대체육의 특징

		일반 육류	식물성 대체육	식용곤충	배양육
정의 및 생산방법	-	전통적인 가축의 사육을 통한 식육 생산	식물성 단백질 또는 곰팡이를 이용하여 제조	식용이 가능한 모든 곤충	조직의 배양을 이용한 식육 생산
지속가능성	자원 사용	많음	매우 적음	적음	매우 적음
	온실가스 배출	높음	감소	감소	감소
영양가	-	변화 없음	높은 단백질 함량	높은 단백질 및 무기질 함량	지방산 조성 및 철분 함량 조절 가능
안전성	-	검증	검증	검증 진행 중	검증 필요
시장 적용 가능성	대량 생산	가능	가능	가능	현재 제한적임 (기술 개발 중)
	가격	상승 중	낮음	보통	매우 높음
동물복지 문제	-	있음	없음	없음	없음
기존 육류 유사도	-	-	다소 낮음	낮음	유사함
한계점	-	미래 식육 수요 충족 불가	맛과 조직감 부족	소비자 혐오감	새로운 것에 대한 두려움

자료: Bonny et al. (2015), 정종연 등(2018)에서 수정 인용.

현재까지 알려지고 있는 내용들을 기반으로 살펴보면, 배양육은 향후 몇 년간은 상용화를 위한 대량생산체계 마련이 가장 시급한 것으로 보이며 생산공정 중 이용되는 배지 및 기타 성분들의 안전성 검증도 필요한 것으로 보인다. 또한 주로 이용되고 있는 지지체 기술만으로는 고도의 조직을 가진 형태의 식육을 배양하기 어렵기 때문에 자가 조직화 기술과 관련한

연구를 통하여 보다 다양한 형태의 배양육 개발이 필요하다. 따라서 배양육 생산은 마스크림을 통해서 알려진 것에 비해 기초 연구개발을 통한 다방면의 기술적 발전이 더욱 필요한 분야라고 할 수 있다.

기호성이 가장 우수한 단백질 공급원인 식육 수요의 증가는 경제의 성장과 동반하기 때문에 지역적 편차가 있을 수 있지만, 앞으로도 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 이와 함께 현실적인 자원의 부족과 환경에 대한 경각심, 지속가능성에 대한 우려를 바탕으로 한 소비자의 인식과 가치의 변화는 향후 대체육과 가축 사육을 통하여 생산된 기존의 식육이 상호보완적인 관계로 발전하도록 견인할 것으로 기대한다. 이에 전술한 식물성 대체육, 식용곤충, 그리고 배양육 모두 각 기술의 발전 단계와 완성도에 따라 각각의 역할을 시기와 수준에 맞게 수행할 것이며, 이를 위한 연구개발도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 강석남, 김일석, 남기창, 민병록, 이무하, 임동균, 장애라 조철훈. 2018. *식육과학 4.0*. 유한문화사
- 김수희. 2017. *식용곤충산업의 현황과 전망*. 세계농업, 207:43~66.
- 김일석. 2018. *곤충자원과 곤충식품에 대한 학회 차원에서의 선행적 활동이 시급하다*. 축산식품과학과 산업, 5:21~23.
- 김철재. 2005. *식물성 단백질을 이용한 육류대체식품의 개발*. 동아시아식생활학회 학술발표대회 논문집, 1:75~92.
- 류정표. 2017. *세계 식용곤충 시장 및 가공기술 동향*. 세계농업, 207:25~42.
- 맹진수. 2016. *미래 식품의 대체 기술 동향: 배양육, 인공계란과 식용곤충을 중심으로*. 융합연구리뷰, 2:4~34.
- 박성권, 윤은영. 2018. *동물성 단백질 식품으로서의 곤충의 이용*. 축산식품과학과 산업, 5:12~20.
- 식품의약품안전처. 2013. *축산물 위생관리법*. 식품의약품안전처 법률 제15946호.
- 오승희. 2015. *배양육(In Vitro meat)의 미래*. Future Horizon, 26:2~2.
- 이정민, 김용렬. 2018. *대체 축산물 개발 동향과 시사점*. 농정포커스. 1:1~24.
- 이현정. 2018. *건식숙성 우육의 풍미 영향 인자 및 풍미 형성 기작 연구*. 서울대학교 박사학위 논문.
- 정종연, 조철훈. 2018. *식육 및 육가공 산업에서의 육류 대체 식품 및 소재의 활용*. 축산식품과학과 산업, 5:2~11.
- Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Dias, C., Finnigan, J., Moran, D., Rounsevell, M. D. A. 2017. *Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use?*. Global Food Security, 15:22~32.
- Asgar, M. A., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R., Karim, A. A. 2010. *Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9:513~529.
- Bhat, Z. F., Kumar, S., Fayaz, H. 2015. *In vitro meat production: Challenge and benefits over conventional meat production*. Journal of Integrative Agriculture, 14:241~248.
- Bonny, S. P. F., Gardner, G. E., Pethick, D. W., Hocqutte, J. F. 2015. *What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry?* Journal of Integrative Agriculture, 14:255~263.
- Hur, S. J., Jo, C., Yoon, Y., Jeon, J. Y., Lee, K. T. 2018. *Controversy on the correlation of red and processed meat consumption with colorectal cancer risk: an Asian*



- perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. In press. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1495615>.
- Joshi, V. K., Kumar, S. 2015. Meat analogues: plant based alternatives to meat products. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5:107~119.
- Kadim, I. T., Mahgoub, O., Baqir, S., Faye, B., Purchas, Roger. 2015. *Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects*. *Journal of Integrative Agriculture*. 14:222~233.
- Moritz, M. S. M., Verbruggen, S. E. L. Post, M. J. 2015. *Alternatives for large-scale production of cultured beef: A review*. *Journal of Integrative Agriculture*. 14: 208~216.
- Post, M. J. *Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects*. *Meat Science*, 92, 297~301.
- Smet, S. D., Vossen, E, 2016. *Meat: The balance between nutrition and health*. *Meat Science*, 120:145~156.
- Tozma-Sosa, D. A., Verbeek, J. M., Valenberg, H. F. J. 2016. *Fractionation of insect oils: the case of yellow mealworm oil*. *Inform. International News on Fats Oils and Related Materials*. 26:24~25.

## 참고사이트

- 팍노필의 미래 창(<http://plug.hani.co.kr/futures/2887446>)
- 동아사이언스(<http://dongascience.donga.com/news.php?idx=25226>)
- 밥상머리뉴스(<http://www.bapsangnews.com/article/5b2306b61b1d3287051610c0>)
- 블록체인AI뉴스(<http://blockchainai.kr/client/news/newsView.asp?nBcate=F1008&nMcate=M1001&nScate=11&nIdx=30530&cpage=18&nType=1>)
- 세계일보(<https://www.segye.com/newsView/20190222003539>)
- 지디넷코리아(<http://www.zdnet.co.kr/view/?no=20130806080212>)